

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA ADMISSÃO DE LUZ NATURAL
ATRAVÉS DE ABERTURAS COM ELEMENTOS DE CONTROLE
SOLAR

TESE DE DOUTORADO

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil.

AMILCAR JOSÉ BOGO

Florianópolis SC, Junho de 2007

"MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA ADMISSÃO DE LUZ NATURAL ATRAVÉS DE ABERTURAS COM ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR"

AMILCAR JOSÉ BOGO

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof. Dr. Glicério Trichês - Coordenador do PPGEC

Prof. Fernando O. Ruttkay Pereira Ph.D. - Orientador – ARQ/UFSC

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato – FAU/USP

Prof. Ricardo Carvalho Cabús Ph.D.– CTEC/UFAL

Prof. Dr. Anderson Claro – ARQ/UFSC

Prof EneDir Ghisi Ph.D.– ECV/UFSC

Prof. Roberto Lamberts Ph.D.– ECV/UFSC

A FORÇA ESTÁ COMIGO

OFERECIMENTO

À minha família, em especial, ao meu mais novo sobrinho Fred.

À minha querida Jujuba.

“Ainda que eu falasse a língua dos homens/E falasse a língua dos anjos,/ Sem amor eu nada seria....”

Monte Castelo (Renato Russo, 1989)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira pela orientação e comentários gerais, assim como pelo abrigo junto ao Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon - ARQ/UFSC durante o período da tese e da permanência em Florianópolis (2001-2004);

Ao Prof. Anderson Claro pela co-orientação e desenvolvimento do Módulo Especial do Programa APOLUX de simulação utilizado;

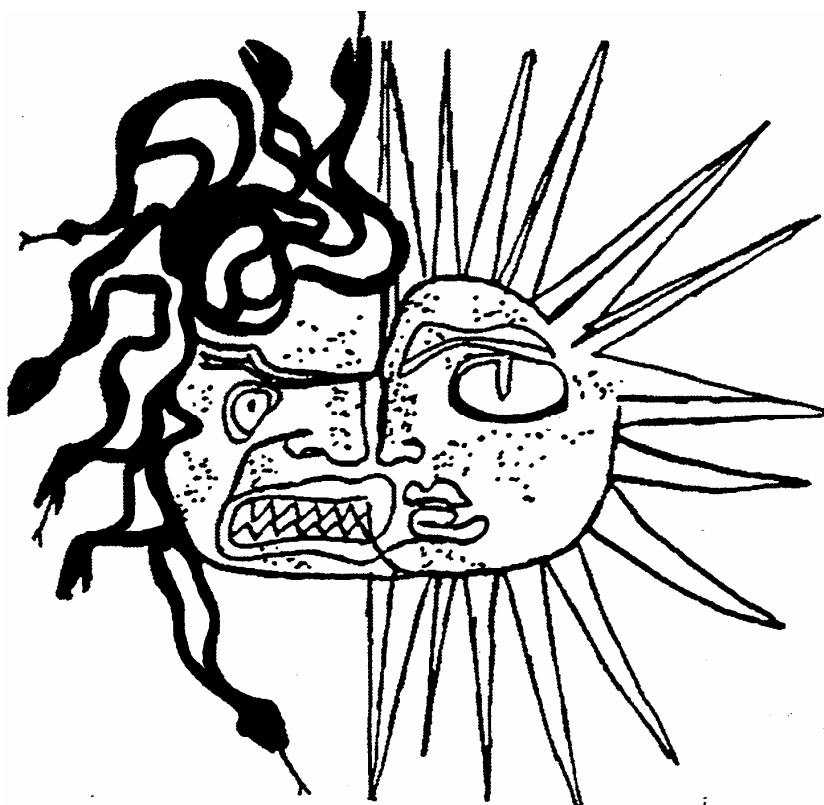
Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina;

Aos membros da banca examinadora;

Aos amigos, colegas e bolsistas do PPGEC, do LabCon - ARQ/UFSC e do Laboratório de Conforto Ambiental – LACONFA - DAU/FURB pelo companheirismo, sugestões e auxílio;

A Universidade Regional de Blumenau – FURB pelas condições que viabilizaram o doutoramento, desde 2001 até 2007.

MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA ADMISSÃO DE LUZ NATURAL ATRAVÉS DE ABERTURAS COM ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR



Os dois lados do Sol: mau e bom
(Fonte: OLGAY e OLGAY, 1957)

SUMÁRIO GERAL

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE GRÁFICOS	xxii
RESUMO	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização Arquitetônica	28
1.2 O Problema da Pesquisa	33
1.3 Hipótese.....	34
1.4 Justificativa	34
1.5 Objetivo Geral.....	35
1.6 Objetivos Específicos.....	35
1.7 Estrutura da Tese de Doutorado.....	36

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Abertura como Fonte de Luz	38
2.2 Influência dos Elementos de Controle Solar na Iluminação Natural Interior de Edificações	40
2.3 Abordagem Conceitual para Estudo da Luz Natural Admitida através de Aberturas com Elementos de Controle Solar	50
2.4 Comportamento Radiante das Aberturas.....	53
2.4.1 Propriedades Ópticas para a Caracterização do Comportamento Luminoso de Aberturas	55
2.4.2 A Luz Natural Desejada	55

2.5 Avaliação da Iluminação Natural Interior e da Luz Natural Admitida através das Aberturas.....	58
2.5.1 Métodos caracterizadores do comportamento luminoso de aberturas com elementos de controle solar de geometria complexa.....	58
2.5.1.1 Métodos Experimentais de Laboratório	59
2.5.1.2 Programas de Simulação Computacional.....	66
2.6 Identificação dos Principais Métodos Caracterizadores do Comportamento Luminoso de Aberturas como Subsídio para o Método Proposto.....	70

CAPÍTULO 3 - MÉTODO

3.1 Apresentação	76
3.2 Ambiente Virtual proposto.....	77
3.2.1 Programa de Simulação APOLUX 1.0	82
3.3 Testes de Confiabilidade do Contexto de Estudo quanto à Identificação da Distribuição Espacial da Luz Natural Admitida	84
3.3.1 Análise de Distorção dos Valores de Luminância Equivalente da Janela devido ao Efeito Cosseno	102
3.3.2 Características de Configuração Geométrica e de Sombreamento dos Elementos de Controle Solar Seleccionados para Análise	103
3.4 Processo de Simulação Computacional do Modelo Hemisfera com Base Vertical com Abertura (Janela)	107

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados de Fluxo Luminoso para Situações 1 a 21	117
4.1.1 Análise dos RESULTADOS do Fluxo Luminoso - Influência da Geometria dos Elementos de Controle Solar.....	118

4.1.2 Análise dos Resultados do Fluxo Luminoso - Influência da Refletância dos Elementos de Controle Solar	122
4.1.3 Análise dos Resultados do Fluxo Luminoso – Avaliação Conjunta da Influência da Geometria e da Refletância dos Elementos de Controle Solar	131
4.1.4 Resultados de Luminância Equivalente da Janela: Situações 1 a 21.....	132
4.2 Análise Geral dos Resultados.....	184
4.2.1 Fluxo Luminoso - Influência da Geometria dos Elementos de Controle Solar	184
4.2.2 Fluxo Luminoso - Influência da Refletância dos Elementos de Controle Solar	187
4.2.3 Luminância Equivalente da Janela	188

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

5.1 Análise Final dos Resultados.....	191
5.2 Limitações.....	193
5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	194

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICES

1. Resultados de Fluxo Luminoso para Situações Individuais 1 a 21	202
2. Resultados de Luminância Equivalente da Janela: Situações 1 a 21	223
3. Modelo de planilha de dados de iluminância no plano do vidro externo (plano número 600)	307
4. Modelo de planilha de dados de luminância	308

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação do controle solar e uso da luz natural para sistemas de sombreamento	46
Tabela 2- Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 1	117
Tabela 3- Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 1 PH	118
Tabela 4- Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 10 PH	119
Tabela 5- Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 5 PV	120
Tabela 6 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 10 PV	121
Tabela 7 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 10 PH com refletância de 75% e 20%	122
Tabela 8 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 5 PV com refletância de 75% e 20%	123
Tabela 9 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 10 PV com refletância de 75% e 20%	124
Tabela 10 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) para tipos de ECS – Situação 22.....	125

Tabela 11 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 23.....	125
Tabela 12 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 24.....	126
Tabela 13 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 25.....	126
Tabela 14 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 26.....	127
Tabela 15 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 27.....	127
Tabela 16 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 28.....	128
Tabela 17 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 29.....	128
Tabela 18 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 30.....	129
Tabela 19 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 31.....	129
Tabela 20 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para tipos de ECS – Situação 32.....	130
Tabela 21 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para 1 PH e 10 PH com variação de altura e de azimute, 75% refletância, 0,15 m espessura de parede e peitoril, altura 30° e 60°.....	130
Tabela 22 - Comparativo da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso)	
para 5 PV e 10 PV com variação de altura e de azimute, altura 30° e 60°:	

5 PV e 10 PV.	131
Tabela 23 - Comparativo médio da admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – GEOMETRIA dos elementos de controle solar: altura 30° segundo os azimutes de estudo.....	185
Tabela 24 - Comparativo Médio da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) - GEOMETRIA dos elementos de controle solar: altura 60° segundo os azimutes de estudo.....	186
Tabela 25 - Comparativo <u>Médio Final</u> da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) - GEOMETRIA dos elementos de controle solar: alturas 30° e 60° segundo os azimutes de estudo.....	187
Tabela 26 - Comparativo <u>Médio Final</u> da Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) - REFLETÂNCIA dos elementos de controle solar: altura 60° segundo os azimutes de estudo..	188
Tabela 27 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 1	202
Tabela 28 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 2	203
Tabela 29 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 3	204
Tabela 30 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 4	205
Tabela 31 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 5	206
Tabela 32 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 6	207
Tabela 33 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 7	208
Tabela 34 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 8	209
Tabela 35 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 9	210
Tabela 36 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 10	211
Tabela 37 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 11	212
Tabela 38 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 12	213

Tabela 39-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 13	214
Tabela 40-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 14	215
Tabela 41-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 15	216
Tabela 42-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 16	217
Tabela 43-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 17	218
Tabela 44-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 18	219
Tabela 45-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 19	220
Tabela 46-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 20	221
Tabela 47-	Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 21	222

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe de um <i>brise-soleil</i> (Edifício do MEC Rio de Janeiro).....	29
Figura 2 - Muxarabi, gelosias na arquitetura colonial Brasileira.....	29
Figura 3 - Arcadas, átrio, varanda em edificações antigas	30
Figura 4 – Sacada, beiral, elemento vazado em edificações atuais	30
Figura 5 – Edifício Obra do Berço RJ (O. Niemeyer, 1937); Prédio do Parque Guinle RJ (L.Costa, 1954); Prédio da ABI, RJ (Irmãos Roberto, 1938)	31
Figura 6 - Edifício do MEC - Rio de Janeiro (Lúcio Costa e Outros).....	32
Figura 7 - Espectro da Radiação Solar	38
Figura 8 - Incidência de luz natural em dois tipos de aberturas de uma edificação.....	39
Figura 9 – Tipos de sistemas de controle da luz solar direta analisados	41
Figura 10 – Fonte, trajeto e alvo da luz natural.....	51
Figura 11 – Exemplo de avaliação do fluxo luminoso natural admitido num ambiente	52
Figura 12 – Radiação solar incidente num vidro e as parcelas transmitida, refletida e absorvida	54
Figura 13 - Radiômetro escaneador direcional pelo uso da esfera integradora.....	59
Figura 14 - Radiômetro escaneador bidirecional.	61
Figura 15 - Posicionamento de uma amostra no radiômetro escaneador bidirecional.....	62
Figura 16 - Goniofotômetro bidirecional do <i>EPFL</i>	63

Figura 17 - Aparato para medição bidirecional da luz – <i>ISE</i>	64
Figura 18 - Goniofotômetro espiral – <i>TUB</i>	65
Figura 19 – Representação dos efeitos espaciais da luz admitida para quatro tipos de amostras: acrílio difusor, lâminas direcionadoras, vidro re-direcionador, lâminas horizontais.	72
Figura 20 – Representação dos efeitos espaciais da luz admitida para dois tipos de amostras: filme prismático e vidro direcionador solar	74
Figura 21 – Modelo de configuração ideal com Sol virtual e detector hemisférico da transmissão bidirecional da luz através de um sistema de aberturas.....	75
Figura 22 - Hemisfera oca; tipo cubo com seis lados; cubo simples.....	78
Figura 23 - Representação gráfica da luminância equivalente da janela.	81
Figura 24 - Distribuição espacial da luz para a situação A.....	86
Figura 25 - Distribuição espacial da luz para a situação B.....	87
Figura 26 - Distribuição espacial da luz para a situação C.	89
Figura 27 - Distribuição espacial da luz para a situação D.	90
Figura 28 - Distribuição espacial da luz para a situação E.....	92
Figura 29 - Distribuição espacial da luz para a situação F.....	94
Figura 30 - Distribuição espacial da luz para a situação G.	96
Figura 31 - Distribuição espacial da luz para a situação H.	98
Figura 32 - Distribuição espacial da luz para a situação L.....	101
Figura 33 - Distorção devido ao efeito cosseno.....	102
Figura 34 – Isométrica e vista lateral de 1 placa horizontal sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa.....	104

Figura 35 – Isométrica e vista lateral de 10 placas horizontais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa e refletida.	104
Figura 36 – Isométrica e vista lateral de 1 placa horizontal sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa.	105
Figura 37 – Isométrica e vista lateral de 10 placas horizontais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa.	105
Figura 38 – Isométrica e vista lateral de 5 placas verticais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa e refletida.	106
Figura 39 – Isométrica e vista lateral de 10 placas verticais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa e refletida.	106
Figura 40 – Ângulos de incidência de luz de análise em corte (alturas 30°, 60°) e em planta (azimutes 0°, 60° e - 60°), a partir do centro da abertura na hemisfera.....	110
Figura 41 - Vista isométrica da hemisfera com base vertical e a abertura com vidro gerada no <i>CAD</i> (arquivo tipo <i>dwg</i> em linhas (a) e como sólido (b)), modelo base sem os ECS.....	111
Figura 42 - Hemisfera com base vertical e a abertura com vidro gerada no <i>CAD</i> (arquivo tipo <i>dwg</i>), exemplo para o modelo com um tipo de elemento de controle solar (10 placas horizontais) na abertura..	111
Figura 43 - Vista externa no Módulo Fractal da hemisfera com base vertical, 1 placa horizontal sobre a abertura.	112
Figura 44 - Vista externa do fracionamento da hemisfera com base vertical, abertura e ECS no Módulo Fractal..	112
Figura 45 - Vista externa do Modelo Base (sem elementos de controle solar) da hemisfera com base vertical e a abertura no Programa APOLUX,	

Módulo LuzSolar (arquivo de projeto).....	113
Figura 46 - Vista externa do Modelo da hemisfera com base vertical e a abertura simulada no Programa APOLUX no Módulo Luz Solar com 10 placas horizontais.	113
Figura 47 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise.....	117
Figura 48 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	118
Figura 49 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	119
Figura 50 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	120
Figura 51 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	121
Figura 52 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	122
Figura 53 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	123
Figura 54 - Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada.....	124
Figura 55 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 1.....	133
Figura 56 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 7.....	134
Figura 57 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 2.....	138
Figura 58 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 8.....	139
Figura 59 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 3.....	143
Figura 60 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 9.....	144

Figura 61 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 4.....	148
Figura 62 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 10.....	149
Figura 63 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 17.....	150
Figura 64 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 5.....	155
Figura 65 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 11.....	156
Figura 66 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 18.....	157
Figura 67 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 6.....	162
Figura 68 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 12.....	163
Figura 69 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 19.....	164
Figura 70 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 13.....	169
Figura 71 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 14.....	170
Figura 72 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 15.....	174
Figura 73 - Resultados de luminância equivalente da janela para a	

situação 16.....	175
Figura 74 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 20.....	179
Figura 75 - Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 21.....	180
Figura 76 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 1.....	202
Figura 77 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 2.....	203
Figura 78 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 3.....	204
Figura 79 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 4.....	205
Figura 80 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 5.....	206
Figura 81 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 6.....	207
Figura 82 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 7.....	208
Figura 83 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 8.....	209
Figura 84 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 9.....	210
Figura 85 - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 10.....	211

- Figura 86** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 11.....212
- Figura 87** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 12.....213
- Figura 88** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 13.....214
- Figura 89** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 14.....215
- Figura 90** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 15.....216
- Figura 91** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 16.....217
- Figura 92** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 17.....218
- Figura 93** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 18.....219
- Figura 94** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 19.....220
- Figura 95** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 20.....221
- Figura 96** - Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20m de comprimento sobre a janela, como uma marquise – situação 21.....222
- Figura 97** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 1.....223
- Figura 98** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 2.....227
- Figura 99** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 3.....231

- Figura 100** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 4...235
- Figura 101** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 5...239
- Figura 102** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 6...243
- Figura 103** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 7...247
- Figura 104** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 8...251
- Figura 105** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 9...255
- Figura 106** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 10...259
- Figura 107** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 11...263
- Figura 108** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 12...267
- Figura 109** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 13...271
- Figura 110** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 14...275
- Figura 111** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 15...279
- Figura 112** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 16...283
- Figura 113** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 17...287
- Figura 114** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 18...291
- Figura 115** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 19...295
- Figura 116** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 20...299
- Figura 117** - Resultados de luminância equivalente da janela - situação 21...303

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 1</u> com altura 30° e azimute 0°.....	136
Gráfico 2 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 7</u> com altura 30° e azimute 60°.....	137
Gráfico 3 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 2</u> com altura 30° e azimute -60°.....	141
Gráfico 4 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 8</u> com altura 30° e azimute 0°.....	142
Gráfico 5 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 3</u> com altura 30° e azimute 60°.....	146
Gráfico 6 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 9</u> com altura 30° e azimute -60°.....	147
Gráfico 7 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 4</u> com altura 60° e azimute 0°.....	152
Gráfico 8 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 10</u> com altura 60° e azimute 60°.....	153
Gráfico 9 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 17</u> com altura 60° e azimute -60°.....	154
Gráfico 10 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 5</u> com altura 60° e azimute 0°.....	159
Gráfico 11 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 11</u> com altura 60° e azimute 60°.....	160
Gráfico 12 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 18</u> com altura 60° e azimute -60°.....	161
Gráfico 13 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 6</u> com altura 30° e azimute 60°.....	166

Gráfico 14 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 12</u> com altura 30° e azimuth 60°.....	167
Gráfico 15 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 19</u> com altura 60° e azimuth 60°.....	168
Gráfico 16 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 13</u> com altura 60° e azimuth 60°.....	172
Gráfico 17 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 14</u> com altura 60° e azimuth 0°.....	173
Gráfico 18 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 15</u> com altura 60° e azimuth 60°.....	177
Gráfico 19 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 16</u> com altura 60° e azimuth -60°.....	178
Gráfico 20 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 20</u> com altura 60° e azimuth 60°.....	182
Gráfico 21 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 21</u> com altura 60° e azimuth 60°.....	183
Gráfico 22 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 1</u> com altura 30° e azimuth 0°.....	225
Gráfico 23 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 2</u> com altura 30° e azimuth 60°.....	229
Gráfico 24 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 3</u> com altura 30° e azimuth -60°.....	233
Gráfico 25 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 4</u> com altura 30° e azimuth 0°.....	237
Gráfico 26 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 5</u> com altura 30° e azimuth 60°.....	241
Gráfico 27 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 6</u> com altura 30° e azimuth -60°.....	245

Gráfico 28 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 7</u> com altura 60° e azimute 0°.....	249
Gráfico 29 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 8</u> com altura 60° e azimute 60°.....	253
Gráfico 30 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 9</u> com altura 60° e azimute -60°.....	257
Gráfico 31 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 10</u> com altura 60° e azimute 0°.....	261
Gráfico 32 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 11</u> com altura 60° e azimute 60°.....	265
Gráfico 33 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 12</u> com altura 60° e azimute -60°.....	269
Gráfico 34 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 13</u> com altura 30° e azimute 60°.....	273
Gráfico 35 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 14</u> com altura 30° e azimute 60°.....	277
Gráfico 36 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 15</u> com altura 60° e azimute 60°.....	281
Gráfico 37 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 16</u> com altura 60° e azimute 60°.....	285
Gráfico 38 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 17</u> com altura 60° e azimute 0°.....	289
Gráfico 39 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 18</u> com altura 60° e azimute 60°.....	293
Gráfico 40 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 19</u> com altura 60° e azimute -60°.....	297
Gráfico 41 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m ²) em imagem 3D para <u>situação 20</u> com altura 60° e azimute 60°.....	301

Gráfico 42 – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem

3D para situação 21 com altura 60° e azimuth 60° 305

RESUMO

MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA ADMISSÃO DE LUZ NATURAL ATRAVÉS DE ABERTURAS COM ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR

Esta tese propõe um método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com diferentes tipos de elementos de controle solar. Garantir luz natural controlada no interior dos ambientes possibilita iluminação de melhor qualidade, com melhor reprodução de cores, menor geração de calor, permitindo um ambiente com maior conforto ambiental interno aos ocupantes. O método utilizado é de simulação computacional da luz natural por meio de uma hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz natural (janela), analogamente ao goniofotômetro utilizado em estudos fotométricos. Foram avaliados comparativamente diferentes sistemas de controle solar no que se refere à admissão de luz natural (fluxo luminoso) e sua distribuição espacial para o interior (luminância equivalente da janela). Para a implementação do método, foi utilizado um módulo especial do programa de simulação computacional da luz natural APOLUX 1.0, identificando os resultados de luminância no plano do vidro externo adotado para o cálculo do fluxo luminoso admitido; a distribuição espacial da luz natural admitida foi calculada segundo o conceito da luminância equivalente da janela (fonte superficial), desde o seu centro até pontos do interior da hemisfera em que a luminância foi identificada. Foram avaliados diferentes sistemas de aberturas em relação à geometria (placas horizontais e verticais) e à refletância dos elementos de controle solar (75%; 20%), considerando períodos diferenciados de incidência solar com alturas de 30 e 60 graus, azimutes de 0, 60, e -60 graus a partir do centro da abertura, dependendo da situação. Os resultados obtidos indicaram que diferentes tipos de elementos de controle solar com mesmo ângulo de proteção proporcionam admissão de luz natural muito diferente, com grandes variações quando comparadas 1 placa horizontal e 10 placas horizontais, e pouca variação entre 5 placas verticais e 10 placas verticais; também foi identificada a influência significativa da refletância dos elementos de controle solar na admissão de luz natural. O estudo possibilitou a comparação dos sistemas de aberturas analisados, em termos da quantidade de luz admitida (fluxo luminoso) e sua distribuição espacial (luminância equivalente da janela) para o ambiente interno.

ABSTRACT

METHOD FOR EVALUATING DAYLIGHT INTAKE THROUGH OPENINGS WITH SOLAR CONTROL DEVICES

This thesis suggests a method for evaluating daylight intake through openings with different types of solar control devices. Guaranteeing controlled daylight inside the rooms enables better quality illumination, with better reproduction of colors, less heat, offering a more comfortable room for the people living there. The used method is a computational simulation of daylight through a hollow hemisphere with a vertical base and an opening as a light source (window), analogous to the goniophotometer used in photometric studies. Different solar control systems were comparatively evaluated regarding daylight inlet (luminous flux) and its spatial distribution into the interior (equivalent window luminance). For the implementation of the method, a special module from the APOLUX 1.0 daylight computational simulation program was used, identifying the illuminance results in the level of the external glass adopted for the calculation of the admitted luminous flux. The spatial distribution of the admitted daylight was calculated according to the concept of equivalent window luminance (superficial source), from its center until the hemisphere interior points where the illuminance was identified. Several different opening systems were evaluated in relation to the geometry (horizontal and vertical plates) and the reflectance of the solar control devices (75%; 20%) considering different periods of solar incidence with 30 and 60 degree heights, 0, 60 and -60 degree azimuths from the center of the opening, depending on the situation. The obtained results showed that the different types of solar control devices with the same protection angle provide very different daylight inlet, with great varieties when comparing 1 horizontal plate and 10 horizontal plates, and very little variety comparing 5 vertical plates and 10 vertical plates. The significant influence of the reflectance of solar control devices in the daylight inlet was also identified. The study allowed the comparison of the analyzed opening systems, in terms of amount of daylight admitted (luminous flux) and its spatial distribution (equivalent window luminance) for an indoor area.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização Arquitetônica

O atendimento às questões de conforto ambiental nas edificações é importante para a qualidade interna do ambiente, como as referentes ao conforto luminoso, que abrangem a admissão da luz natural através das aberturas.

Vitrúvio, já no século I A.D. em seu Tratado de Arquitetura mencionava que a arquitetura tinha de possuir três qualidades: *firmitas* (técnica e resistência); *utilitas* (responder as necessidades dos usuários); e *venustas* (arte e estética) (DEL RIO, 1996). Responder as necessidades dos usuários engloba as questões de conforto ambiental citadas, entre outras mais.

No entanto, até hoje, parte desses atributos de qualidade (como os de conforto ambiental) dificilmente são adequadamente atendidos pela produção arquitetônica, à exceção de poucos exemplares arquitetônicos. Isso ocorre, em parte, devido às complexidades do atendimento desses quesitos de qualidade pelos arquitetos, em virtude dos valores culturais-arquitetônicos estrangeiros dominantes no Brasil e da má formação dos arquitetos que muitas vezes não são preparados para ver a obra arquitetônica nas suas dimensões extra-formais, como são os aspectos de conforto ambiental.

O estudo sobre luz natural nas edificações requer atenção à radiação solar incidente através das aberturas, de forma a admiti-la em quantidade desejada e na distribuição pretendida, visando atender aos quesitos luminosos de conforto ambiental.

Admitir luz natural para o interior dos ambientes significa utilizá-la de forma adequada; para isso é necessário controlá-la, evitando efeitos como excesso de calor, ofuscamento e degradação dos materiais. Para o controle da luz natural direta (insolação), o arquiteto pode dispor de recursos arquitetônicos tendo em vista tal objetivo, possibilitando receber a luz de forma indireta, filtrada, refletida/redirecionada e/ou bloqueada parcialmente.

O efeito do controle da luz direta nas aberturas por meio do uso de diversos tipos de recursos arquitetônicos modifica a quantidade de luz admitida e sua distribuição para o ambiente interno.

Elementos de controle solar dos mais diversos, como o *brise-soleil* criado por Le Corbusier na década de 1920, objetivam melhorar as condições de conforto térmico interior nas edificações onde o excesso de calor proveniente de grande insolação estivesse presente. O *brise-soleil* (Figura 1), bloqueia o excesso de insolação direta externamente às fachadas das edificações, filtrando e re-direcionando a luz natural, permitindo ao mesmo tempo ventilação e parte da visão externa.

Dessa forma, a trajetória da radiação solar incidente nas aberturas para o ambiente interno é modificada pela influência dos elementos de controle verticais e horizontais, assim como a quantidade total admitida.



Figura 1 - Detalhe de um *Brise-soleil* (Edifício do MEC - Rio de Janeiro)

(Fonte: www.vitruvius.com.br)

Outros tipos de elementos de controle solar adicionados à janela possibilitam a alteração da trajetória e da quantidade de luz natural admitida, desde o *brise-soleil* até diversos elementos como venezianas, muxarabis, gelosias, treliçados, persianas externas, entre outros, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Muxarabi e gelosias na arquitetura colonial brasileira

(Fonte: www.vitruvius.com.br)

Com o mesmo objetivo de controlar a luz direta nas edificações, existem recursos, elementos ou estratégias arquitetônicas como arcadas, átrios, galerias, varandas, com exemplares desde a antigüidade até à arquitetura contemporânea atual, com uso de sacadas, varandas, beirais, marquises, elementos vazados, lajes em balanço, pergolados, toldos, entre outros (Figuras 3 e 4).

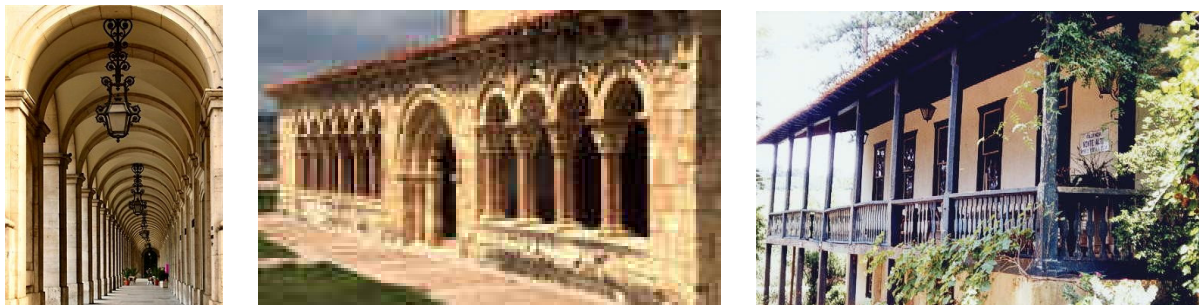


Figura 3 - Arcadas, átrio, varanda em edificações antigas

(Fonte: www.vitruvius.com.br)



Figura 4 - Sacada, beiral, elemento vazado em edificações atuais

(Fonte: www.vitruvius.com.br)

A admissão de luz natural através das aberturas de forma controlada possibilita como visto, a melhoria das condições de iluminação do ambiente interior, a partir da entrada da luz em quantidade suficiente e/ou numa distribuição diferente da insolação direta no ambiente interno.

Analisando a utilização da luz natural na arquitetura brasileira, pode-se citar a produção arquitetônica a partir de ícones representativos do movimento moderno desde a década de 1930 até 1960. Nesse período, muitas edificações foram projetadas com a adoção de elementos/recursos arquitetônicos visando à admissão de luz natural de forma controlada, nas mais diversas configurações geométricas e efeitos plásticos. A luz natural admitida para o ambiente interior devido ao bloqueio

da insolação direta, filtração e re-direcionamento da luz colaborava para a melhoria do conforto termo-luminoso.

A seguir são apresentados três exemplos dessa situação arquitetônica, com a admissão controlada de luz natural através de aberturas.



Figura 5 - Edifício Obra do Berço - RJ (O. Niemeyer, 1937); Prédio do Parque Guinle - RJ (L.Costa, 1954); Prédio da ABI - RJ (Irmãos Roberto, 1938)
(Fonte: www.vitruvius.com.br)

Na Figura 5, pode-se observar, respectivamente, o efeito de bloqueio e reflexão da luz solar direta pelo uso de brises verticais móveis, a filtração da luz solar direta pelo uso de elementos vazados e o bloqueio e reflexão da luz solar direta pelo uso de brises verticais fixos; situações arquitetônicas representativas dos complexos efeitos de alteração da trajetória da luz admitida no interior das edificações com uso de elementos de controle.

Na situação de uma janela de geometria simples, sem nenhum tipo de elemento de controle da luz, a quantidade de luz admitida e sua distribuição para o interior podem ser facilmente estimadas. Quando da adoção de elementos/recursos arquitetônicos de controle solar na janela, a variação dos fenômenos de transmissão da radiação solar através da janela assume complexidade. Nessas situações, devido principalmente à alteração de trajetória, ao bloqueio parcial da luz, aos processos sucessivos de reflexão da luz até o ambiente interno, a determinação da quantidade e da distribuição espacial interior assume maior dificuldade.

A admissão de luz natural através de aberturas varia também a partir da adoção de elementos de controle solar de configuração geométrica diferente, mas de igual ângulo de proteção solar. Sendo assim, a quantidade de luz natural admitida e sua distribuição espacial interior são diferentes para situações como uma

marquise de 1 m de profundidade sobre a janela, e de um brise com 10 lâminas horizontais de 0,10 m sobre a janela, apesar da mesma proteção quanto à luz solar direta.

Sobre a admissão controlada de luz natural, pode-se citar um marco da arquitetura moderna brasileira, o edifício do Ministério da Educação e Saúde -1935, conhecido hoje como Palácio Gustavo Capanema ou Edifício do MEC, com a adoção dos *brise-soleil* numa de suas fachadas, possibilitando melhorias no conforto térmico interior pelo controle do excesso de luz direta incidente, como também a ventilação e parte do visual exterior, conforme ilustrado na Figura 6.



Figura 6 - Edifício do MEC - Rio de Janeiro (Lúcio Costa e outros)

(Fonte: www.vitruvius.com.br)

Nesse prédio do MEC, por meio do uso dos *brises-soleil* é realizado o controle da admissão de luz natural, possibilitando bloquear parte da luz solar direta, redirecioná-la por reflexão nas placas horizontais e verticais do brise na direção do ambiente interno. No entanto, segundo Corbella e Yannas (2003), o edifício não atende de maneira tão eficaz aos requisitos propostos de controle solar e uso da luz natural, apresentando diversos problemas, como o fato de uma das fachadas totalmente envidraçada receber insolação direta em algumas horas da manhã no período de verão, por exemplo.

Abordando a necessidade de controlar a admissão da luz solar direta nas edificações em locais que normalmente se acredita desnecessário, Corbella e Castanheira (2001) constatam que, no ensino de Arquitetura no Brasil, é generalizada a falta de conhecimento sobre a necessidade de proteção solar (principalmente no verão); além disso, quando se coloca proteção solar, na maioria das vezes se faz de forma equivocada, com sub ou super-dimensionamento da proteção.

Corbella e Castanheira (2001) afirmam ainda que as informações chegadas ao arquiteto brasileiro sobre o aproveitamento da luz natural e seu controle nas edificações foram baseadas em desenvolvimentos e teorias vindas dos países europeus e dos Estados Unidos, com os livros lá produzidos, com situações climáticas diferentes do Brasil.

Projetar uma edificação, considerando as questões de utilização da luz natural através das aberturas com adequado controle solar, na prática não se tem mostrado fácil, pelas próprias complexidades que o projeto necessita atender, e pela falta de compreensão conceitual dos problemas e das possíveis soluções.

1.2 O Problema da Pesquisa

O estudo da admissão e da distribuição espacial de luz natural através de aberturas com diferentes tipos de elementos de controle solar e/ou sistemas de aberturas complexos é apresentado na literatura como uma tarefa demorada e não muito simples, com diversos métodos, destacando-se como os de melhor resultado os métodos experimentais de laboratório e os de simulação computacional.

Nos métodos experimentais de laboratório, o comportamento da luz é analisado considerando a utilização de instrumentos próprios para este fim (radiômetros escaneadores e goniofotômetros de diversos tipos), em processos demorados, de custo elevado e fora do alcance de grande parte dos pesquisadores, por ocorrerem junto a poucas instituições de pesquisa.

Já nos métodos de simulação computacional, o comportamento da luz é analisado com a utilização de programas e de procedimentos metodológicos que facilitam o processo de avaliação quando comparado aos métodos de ensaio

laboratorial, tomando-se por base a representação virtual das suas características físicas no que se refere à influência da luz incidente.

Desenvolver um método alternativo mais fácil e menos demorado que os atualmente existentes para avaliação do comportamento da luz colabora para o conhecimento nesta questão, possibilitando inclusive reaplicá-lo mais facilmente visando maior utilização, com a produção de uma maior base de dados sobre o comportamento luminoso da luz admitida através de aberturas com obstrução de elementos de controle solar.

Dessa forma, o problema de pesquisa desta tese é:

Como desenvolver um método alternativo aos atualmente existentes para estudar o comportamento da luz natural admitida através de aberturas com elementos de controle solar ?

1.3 Hipótese

O conhecimento do comportamento da abertura como fonte de luz para o ambiente interno, segundo suas características quantitativas e de distribuição espacial luminosa, possibilita determinar e avaliar os níveis e a distribuição da iluminação interna.

Baseando-se em um modelo em ambiente virtual, representativo do espaço interno e com uma abertura como fonte de luz, é possível determinar-se teoricamente a admissão e a distribuição espacial da luz natural através de aberturas com elementos de controle solar.

1.4 Justificativa

Atualmente, existem dois tipos principais de métodos de avaliação da distribuição espacial da luz admitida através de uma abertura com obstruções (tipo elementos de controle solar), cada qual com as suas vantagens e desvantagens. Dentre esses, os mais confiáveis e completos são os de ensaio laboratorial e os de simulação computacional, ou ainda os combinados. Na literatura, são identificados diversos trabalhos que apresentam a avaliação de variados tipos de amostras (envidraçados especiais; elementos de controle solar, como persianas e venezianas;

filmes; materiais difusores; materiais re-direcionadores da luz solar direta; entre outros) quanto à admissão de luz.

Em geral, os métodos adotados de avaliação do comportamento da luz admitida são demorados, de custo elevado e de difícil acesso a um número maior de pesquisadores, pela dependência de condições laboratoriais específicas, existentes apenas em determinados locais.

Assim, desenvolver um caminho alternativo num método menos demorado e mais fácil dos atualmente existentes para avaliação do comportamento da luz natural admitida através de aberturas é uma das contribuições deste trabalho.

O método desenvolvido em ambiente virtual definido no *CAD* possibilita, por meio de simulação computacional, o estudo do comportamento da luz admitida através de abertura com elementos de controle solar.

Este método de análise da luz natural em aberturas com elementos de controle solar caracteriza-se como um goniofotômetro virtual, adotado para a avaliação da transmitância bidirecional da luz.

Esta proposta alternativa possibilitará aos pesquisadores interessados um método mais facilmente reaplicável, visando à geração de uma maior base de dados sobre o comportamento luminoso de aberturas com diferentes tipos de elementos de controle solar, permitindo ampliar os estudos sobre iluminação natural no que se refere à sua admissão através das aberturas com sistemas complexos de controle solar.

1.5 Objetivo Geral

Desenvolver um método em ambiente virtual para avaliação da admissão e distribuição espacial da luz natural admitida através de aberturas com elementos de controle solar de geometria complexa.

1.6 Objetivos Específicos

- Desenvolver um ambiente virtual para caracterização do comportamento luminoso de aberturas com elementos de controle solar, avaliando a admissão quantitativa de luz (fluxo luminoso transmitido através da abertura) e a distribuição

espacial da luz para o ambiente interno (luminância equivalente da janela).

- Realizar simulações para a produção de um conjunto de resultados da admissão e da distribuição espacial da luz natural (transmitância bidirecional), possibilitando comparar diversos sistemas de aberturas com diferentes tipos de elementos de controle solar.

1.7 Estrutura da Tese

Na revisão de literatura no capítulo 2, são apresentados a identificação da abertura como fonte de luz, a influência dos elementos de controle solar na iluminação natural interior das edificações, a abordagem conceitual para estudo da luz natural admitida através de aberturas com elementos de controle da luz direta, o comportamento radiante das aberturas, a avaliação da iluminação natural interior e da luz natural admitida com caracterização do comportamento luminoso das aberturas, e a identificação dos principais métodos caracterizadores do comportamento luminoso de aberturas como subsídio para o método proposto.

No capítulo 3, são apresentados o tipo de pesquisa proposta, o ambiente virtual de estudo (hemisfera) para simulação, o programa de simulação computacional APOLUX 1.0, os testes de confiabilidade para uso do programa, as características de configuração geométrica e de sombreamento dos elementos de controle solar selecionados para análise, e o processo de simulação computacional.

No capítulo 4, encontram-se os resultados e a discussão da análise realizada nas simulações de admissão de luz natural (fluxo luminoso), sua distribuição espacial (luminância equivalente da janela), comparando os quatro tipos de elementos de controle solar estudados quanto à geometria e refletância dos elementos de controle solar.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões, as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros, assim como as referências bibliográficas.

Nos Apêndices encontram-se os resultados individuais de fluxo luminoso admitido e de luminância equivalente da janela para cada situação dos elementos de controle solar, os modelos de planilhas geradas no Programa APOLUX referente a valores de iluminância no plano do vidro externo (utilizadas para o cálculo do fluxo luminoso admitido) e os valores de luminância equivalente da janela.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Insolação e iluminação natural são expressões usualmente tratadas como sinônimas pelos arquitetos e pela população em geral, mas consistem em significados diferentes para um mesmo fenômeno físico — a recepção da radiação solar na superfície terrestre em diversos comprimentos de onda, como a radiação ultravioleta, a radiação visível e a radiação infravermelha, entre outros comprimentos de onda, causadores dos efeitos de calor e iluminação natural.

Luz e calor são fenômenos distintos do qual a radiação solar é o agente transmissor, desde a superfície terrestre até ao interior das edificações através das aberturas, elementos arquitetônicos que possibilitam a recepção da luz natural, assim como o contato visual exterior, ventilação, entre outras funções.

Quanto à luz natural, é importante conhecer, além da quantidade admitida através das janelas, sua distribuição no ambiente interno, uma vez que a luz está diretamente relacionada aos fenômenos da visão humana. Quanto ao calor, é imprescindível saber o valor global admitido no ambiente interno, já que está relacionado à sensação térmica dos ocupantes.

Admitir luz natural através das aberturas de forma a garantir adequados níveis de iluminação e de distribuição no ambiente, controlando os respectivos ganhos de calor solar, num equilíbrio termo-luminoso, geralmente é uma tarefa que apresenta dificuldades em nível de projeto de arquitetura.

Para admitir a luz natural adequadamente, necessita-se conhecer o comportamento luminoso da fonte para as edificações, no caso as aberturas, que recebem a luz natural e a distribuem para o ambiente interno.

É comum a identificação de edificações com maior ênfase no controle dos ganhos solares excessivos, ou o contrário, admitindo luz natural sem muitas preocupações com os decorrentes problemas térmicos, caracterizando ambientes em que a admissão da luz não foi considerada de forma completa.

São em número reduzido as edificações projetadas de forma a considerar conjuntamente os aspectos termo-luminosos, controlando o excesso de luz natural (luz solar direta) por meio de recursos arquitetônicos para esse fim, ao mesmo tempo em que filtram, redirecionam e potencializam tanto a admissão de luz natural para o interior dos ambientes, como sua distribuição.

Em relação à luz natural, na Figura 7 é apresentado o espectro da radiação solar, com as parcelas ultravioleta (UV-A, UV-B, UV-C), visível e infravermelho, representativas das parcelas de luz e calor existentes dentro do comprimento de onda da radiação solar e que chegam à superfície terrestre.

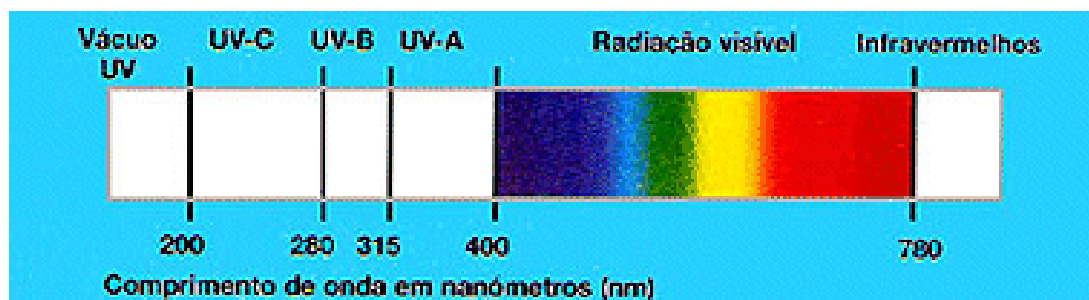


Figura 7 - Espectro da radiação solar.

(Fonte: www.cepa.if.usp.br/energia/energia2000/turmaA/grupo6/lidia.htm, 2006)

Desse modo, com a incidência da radiação solar, incide luz visível e calor, trazendo para o interior das edificações através das aberturas a luz natural desejada, associada aos ganhos de calor solar indesejados nos períodos quentes do ano.

Segundo Pereira (1995), *planejar, considerando insolação e iluminação natural é essencial para obtenção dos benefícios máximos a serem obtidos da disponibilidade, ou não, da radiação solar e luz natural dentro ou ao redor dos edifícios.*

2.1 A Abertura como Fonte de Luz

As aberturas são um dos meios de transmissão da luz natural para o interior das edificações na forma de radiação térmica e luminosa, decorrentes da incidência da radiação solar direta, difusa e/ou refletida para o ambiente interno.

A partir das aberturas, a luz natural disponível no ambiente exterior penetra no ambiente interno das edificações; essas aberturas, são portanto consideradas como fontes superficiais de luz, em função de área, orientação solar, localização na fachada, forma, transmitância do vidro utilizado, bloqueio a partir de elementos de controle solar.

A luz natural, ao incidir diretamente nos elementos envidraçados da edificação, é transmitida, refletida e absorvida em quantidades diversas segundo as

características do vidro utilizado; no vidro claro incolor comum, grande parte é transmitida ao interior (~85%).

Já a luz natural, ao incidir nos elementos opacos, é refletida e absorvida também segundo as características dos materiais (refletância à luz), sendo a reflexão maior em função das cores claras. Essa reflexão, no entanto, não é uniforme; em parte, é do tipo especular quando encontra materiais muito refletivos; em parte, difusa quando encontra materiais uniformemente rugosos e, em parte, é reflexão mista, pois muitos materiais comportam-se em parte como refletivos e em parte como difusores.

A luz natural que não incide diretamente no vidro da abertura pode também sofrer um processo de re-direcionamento por reflexão ao atingir elementos junto a esta, como os elementos de controle solar por exemplo. Esses elementos refletirão mais ou menos luz, em determinadas direções, em função das condições de refletância existentes nos materiais (cor, tipo da reflexão), contribuindo para a iluminação recebida no ambiente interno.

Em vista disso, diferentemente de uma abertura somente com vidro incolor comum que transmite luz para o ambiente interno numa determinada direção de acordo com a situação de incidência externa (Figura 8a), uma abertura com diferentes tipos de obstruções, como os elementos de controle solar (figura 8b), transmite luz em diferentes direções, em função das parcelas transmitidas de forma direta, por reflexão primária ou por múltiplos processos de inter-reflexões, até o interior dos ambientes.

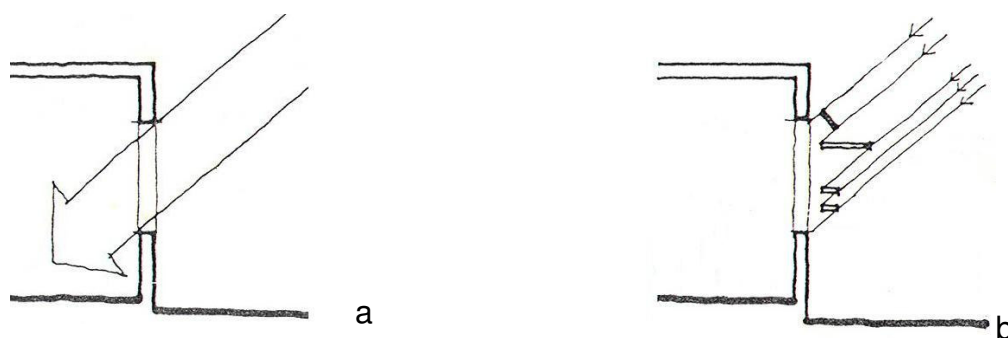


Figura 8 – Incidência de luz natural em dois tipos de aberturas de uma edificação.
(Fonte: adaptado de BITTENCOURT, 1988)

Dessa forma, a iluminação natural no interior das edificações é afetada pelas características da fonte de luz superficial; no caso, a abertura. Dependendo das

suas características, maior ou menor quantidade de luz será transmitida ao interior, em distribuição espacial interna também diferenciada.

2.2 Influência dos Elementos de Controle Solar na Iluminação Natural Interior de Edificações

A adição de obstáculos junto à abertura, como os elementos de controle solar, modifica a trajetória da luz natural transmitida, assim como sua quantidade, afetando a iluminação natural no interior das edificações. Essa influência ocorre em razão do bloqueio/filtração parcial da luz natural incidente na abertura, e da variação da direção da luz para o ambiente interno por causa dos múltiplos processos de reflexões entre os elementos de controle solar.

Sendo assim, a luz natural admitida num ambiente interno de uma edificação sofre alterações quantitativas e de distribuição espacial, em função das características geométricas e da refletância dos elementos de controle solar, ocorrendo situações diversas, desde a recepção de iluminação natural insuficiente ou até excessiva.

Basso e Argout (1997), num trabalho sobre avaliação do desempenho de sistemas de controle de insolação e sua interferência na iluminação natural, analisaram oito tipos de dispositivos de proteção solar no rendimento da iluminação natural, avaliada de acordo com o Fator de Luz Natural (FLD). Oito sistemas de proteção solar foram avaliados, partindo-se de um quebra-sol horizontal de forma a proporcionar um ângulo de proteção horizontal de 50°; cinco sistemas de proteção com lâminas posicionadas na horizontal (de forma a oferecerem diferentes desenhos); um sistema de brise vertical móvel (avaliado em duas posições); além do dispositivo de proteção solar toldo, conforme apresentado na Figura 9.

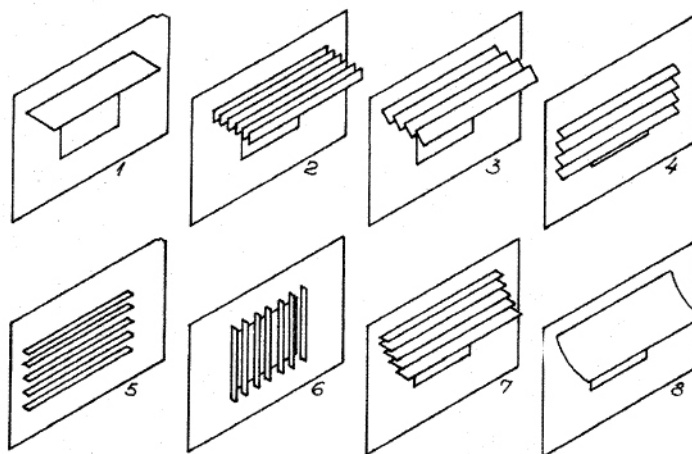


Figura 9 - Tipos de sistemas de controle da luz solar direta analisados
(Fonte: BASSO E ARGOUT, 1997)

Esses oito tipos de sistemas de proteção solar foram analisados nas cores branca e preta, para as orientações Norte, Leste, Oeste e Sul, segundo as respectivas recomendações conceituais, para um ambiente modelo reduzido de forma quadrada com três pontos de avaliação da luz natural, perpendiculares a uma abertura lateral. Os autores concluem, entre outros aspectos, que os sistemas de proteção solar 1, 2, 3 e 7, avaliados respectivamente para as orientações solares Noroeste, Norte e Nordeste para 1, 2 e 3, e Noroeste, Norte e Nordeste para 7, têm uma influência menor na iluminação natural. Já os dispositivos 4, 5 e 6 orientados para Norte, Nordeste e Noroeste têm uma interferência significativa, mesmo na cor branca. Os valores de Fator de Luz Diurna variaram significativamente, inclusive com uma situação (Noroeste) de análise em que os valores identificam a incidência solar direta nos pontos de análise, revelando a ineficiência do elemento de proteção solar, não permitindo a adoção do FLD como critério de avaliação nesta situação. Outras tipologias de sistemas de proteção solar, como quebra-sol vertical e combinação (vertical e horizontal), conforme os autores, deverão ser analisadas em trabalhos futuros.

Basso e Sardeiro (2002), numa avaliação do desempenho das aberturas laterais de conjuntos habitacionais visando ao conforto ambiental, tendo como metodologia a APO, utilizam como critérios de avaliação o Fator de Luz Diurna médio, a uniformidade, a diversidade e a iluminância média. Os ambientes analisados nas casas do conjunto habitacional foram sala e cozinha, com 81% dos ambientes com iluminância média variando entre 150 a 1840 lux, ou seja, a grande

maioria possui valores acima do prescrito pela norma NBR 5413 – Iluminância de Interiores.

Abordando a necessidade do controle solar nas edificações em locais que normalmente se acredita desnecessário, Corbella e Castanheira (2001), registram que, no ensino de Arquitetura no Brasil, é generalizada a falta de conhecimento sobre a necessidade de proteção solar, principalmente no verão e quando se tem, na maioria das vezes está equivocada. Também afirmam que o controle da radiação solar, nas paredes e vidraças, pode ser feito pela orientação das suas áreas e seu dimensionamento, cores, parâmetros ópticos, elementos pára-sóis e/ou vegetação. Informam ainda que a necessidade de controle da radiação solar incidente nas fachadas é abordada há muito tempo (como no caso do Código de Justiniano no século V AD, que legislava sobre o direito ao sol – *Heliocaminus*), como também foi estudada desde o início das pesquisas em arquitetura bioclimática, (OLGYAY e OLGYAY, 1957), (OLGYAY e OLGYAY, 1963).

Considerando a necessidade de controle da luz solar direta incidente nas aberturas, existe a necessidade de conhecer o comportamento da luz natural para o interior dos ambientes, pois diferentes sistemas de controle solar com mesma eficiência apresentam características diferenciadas de distribuição espacial da luz.

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1980¹), evidenciam a necessidade de controlar cuidadosamente a desejável luz natural no interior dos edifícios, pois, mesmo nos climas temperados, os usuários desejam receber luz solar nos períodos por ela desejados. Nesta questão, pode-se afirmar ainda que a luz natural difusa é a mais desejada, com menores possibilidades de ocorrerem problemas de ofuscamento, menor ganho de calor para o ambiente interno, sendo uma luz homogênea, com melhor distribuição do que a luz solar direta inadequada para as atividades de trabalho nos ambientes internos.

Sobre o controle da luz solar direta na arquitetura, uma obra pioneira e de grande importância até os dias atuais é o trabalho de Olgyay e Olgyay (1957). Esse trabalho trata do controle solar e dispositivos de sombreamento, num farto material sobre esta temática. Nesse livro, são apresentadas respostas sobre quando, onde e como proteger uma edificação da radiação solar, por meio de uma metodologia que compreende: (1) determinação do período de sombra necessária, em função das

¹ Título originalmente publicado em 1966.

características climáticas locais; (2) determinação do sol nesses períodos; (3) determinação do tipo e da posição das proteções solares; (4) projeto e dimensionamento das proteções solares a partir de máscaras de sombra. Esses autores classificam as proteções solares (brises) em três categorias: verticais, horizontais e combinadas, podendo resultar em diversas outras possibilidades.

Para o projeto de proteções das aberturas visando ao controle da luz solar direta, outros autores citam fatores a serem considerados, como Bittencourt (1988), por exemplo, que menciona como fatores a eficiência da proteção, plasticidade, privacidade, luminosidade, ventilação, visibilidade, durabilidade, custos de implantação e manutenção.

Também tratando da avaliação de edificações envolvendo o controle da luz solar direta e o uso da luz natural, Labaki e Bueno-Bartholomei (2001), num trabalho sobre avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública em Campinas SP, declaram que, em relação ao conforto luminoso, as necessidades de iluminação estão relacionadas a uma percepção visual adequada, conseguida se houver luz em quantidade e qualidade suficientes, ou seja, remetendo também à questão do controle solar. Para a avaliação de conforto térmico, essas autoras mencionam alguns elementos que devem ser levados em consideração na observação realizada nos ambientes de estudo. Citam-se os relativos ao controle da radiação solar, como os elementos de sombra: cortinas, persianas, brises externos, objetos externos, vegetação, elementos vazados. Para a avaliação de conforto luminoso, as mesmas autoras mencionam os elementos que devem ser levados em consideração na observação realizada nos ambientes de estudo, como a existência de ofuscamento, condições de céu, características das janelas, tipo de iluminação natural e tipo de iluminação artificial. Como resultado da avaliação realizada em quinze escolas, as autoras recomendam que as áreas de janelas nunca estejam orientadas para Leste ou Oeste, e que devem ter proteção solar em forma de beiral e brise horizontal instalado do lado externo do ambiente. Além disso, afirmam que os dispositivos de proteção solar necessitam de um detalhamento para serem eficientes e também para não prejudicarem a iluminação natural interna da edificação, uma vez que a maioria dos ambientes das escolas estudadas tem orientação para Leste ou Oeste, indicando que o problema da insolação nos edifícios não é considerado na fase de concepção do projeto. Como solução para os problemas identificados, as autoras segerem genericamente a instalação de dispositivos de proteção solar,

internos (cortinas) ou externos (brises, de diversos materiais, diferentes formas geométricas e cores), além da vegetação como recurso para controle da radiação solar próximo às edificações.

Acerca de diferentes sistemas de iluminação natural e seu relacionamento com o controle solar nas edificações, Kischkoweit-Lopin (2002), num trabalho sobre uma revisão dos sistemas de iluminação natural, apresenta sistemas de iluminação natural que incorporam também características de sombreamento. Classifica os sistemas de iluminação natural segundo dois princípios básicos: sistemas de sombreamento e sistemas ópticos. Apresenta, na classificação, critérios para escolha dos sistemas de iluminação natural, como o comportamento em relação ao sombreamento, proteção contra o brilho, visão externa, habilidade da penetração da luz no ambiente e distribuição da iluminação.

No que se refere aos sistemas de sombreamento, para o autor estes são projetados primariamente para bloquear a luz solar direta e admitir a luz difusa, mas podem inclusive redirecionar a luz solar direta e difusa. O uso de dispositivos de sombreamento convencionais para evitar o sobre-aquecimento ou efeitos de brilho excessivo também reduz o uso da iluminação natural para as tarefas visuais no interior dos ambientes. Para aumentar o uso da iluminação natural nessas circunstâncias, o autor declara que sistemas de sombreamento têm sido desenvolvidos, permitindo redirecionar a luz difusa para o interior do ambiente por reflexão ou somente difundindo a luz solar difusa. Na classificação de sistemas de sombreamento, ele apresenta duas categorias:

- Sistemas de sombreamento primários que utilizam luz do céu difusora, que bloqueiam a luz solar direta, mas têm transparência para a luz do céu difusa. Para cada um dos sistemas citados (painéis prismáticos; prismas e venezianas; espelhos protetores do Sol; abertura zenital anidólica; sistema de sombreamento direcional seletivo com concentração de *HOE*; sistema de sombreamento transparente com *HOE* baseado na reflexão total), aplicados na posição vertical, horizontal ou de forma inclinada (dependendo do sistema), são feitas considerações sobre o clima adequado, detalhes informativos e critérios para escolha dos elementos. Nesses seis sistemas apresentados não consta nenhuma observação acerca de controle solar nos critérios de escolha, apesar de existir, pela descrição dos sistemas.

- Sistemas primários de sombreamento que utilizam luz solar direta, com utilização da luz solar difusa ou luz solar redirecionada na cobertura ou acima da

linha de visão. Para cada um dos sistemas citados (sombreador direcionador de luz; venezianas e persianas horizontais externas; prateleira de luz para re-direcionamento da luz solar; envidraçado com propriedades refletivas; luz do céu devida a painéis cortados a laser; plaquetas horizontais giratórias externas), aplicados na posição vertical, horizontal ou de forma inclinada (dependendo do sistema), são feitas considerações a respeito do clima adequado, detalhes informativos e critérios para escolha dos elementos. Desses seis sistemas apresentados, somente um apresenta como um dos elementos de critério de escolha um coeficiente de ganho de calor solar variável.

Como sistemas ópticos, o autor apresenta sistemas de iluminação natural sem sombreamento incluído. Estes sistemas foram projetados, primariamente, para redirecionar a luz natural para áreas afastadas das janelas ou para aproveitar a luz do céu. No entanto, cabe frisar que podem atuar como elementos de controle solar em função da sua configuração geométrica. Na classificação de sistemas óticos, o autor apresenta quatro categorias:

I. Sistemas direcionadores da luz difusa, como prateleira de luz; sistema anidólico integrado; teto anidólico; sistema de plaquetas internas ao vidro; elementos direcionadores da luz zenital com elementos óticos holográficos (*HOE*).

II. Elementos óticos holográficos (*HOE*), aplicados na posição vertical, horizontal ou de forma inclinada, dependendo do sistema, no qual constam considerações sobre o clima adequado, detalhes informativos e critérios para escolha dos elementos.

III. Sistemas direcionadores da luz direta, como painéis cortados a laser – *LCP*; painéis prismáticos; elementos óticos holográficos para a luz do céu; vidro direcionador de luz, aplicados na posição vertical ou de forma inclinada, dependendo do sistema, em que constam considerações acerca do clima adequado, detalhes informativos e critérios para a escolha dos elementos.

IV. Sistemas de espalhamento para distribuição da iluminação, como sistemas de espalhamento (vidro difusor de luz, vidro capilarizado, vidro fosco), aplicados na posição vertical, no qual constam considerações sobre o clima adequado, detalhes informativos e critérios para a escolha dos elementos.

Finalizando a avaliação desses sistemas de iluminação natural, Kischkoweit-Lopin (2002) conclui, entre outras questões, que problemas como sobre-aquecimento de ambientes ou brilho excessivo podem ocorrer devido à recusa de

uso de sistemas de iluminação natural e de soluções paliativas que reduzem esses problemas.

No que se refere à proteção da luz solar direta nas aberturas, Rojas, San Juan e Rosenfeld (1999) tratam da sua questão tipológica, citando diversos sistemas de controle solar, quanto às variáveis de projeto, como disposição, forma, mobilidade de seus elementos e material construtivo. Nesse trabalho, foi realizada uma classificação sintética dos sistemas de controle solar em dois grupos: o primeiro sobre os sistemas de controle solar que criam espaços sombreados intermediários entre o ambiente exterior e o interior; e o segundo, que reúne as proteções solares da envolvente construída. No primeiro grupo, foram relacionados: galeria, sacada coberta, telas rígidas, volumes do próprio edifício, elemento natural. Já no segundo, foram relacionados elementos naturais aderidos à fachada, quebra-sol, beiral, marquise, toldo, teto de sombra.

Nas questões do controle solar e de iluminação natural em edificações, Laar (2001) realizou um estudo de sistemas de sombreamento e iluminação natural para um edifício de escritório em clima tropical, no Rio de Janeiro. Na análise realizada para dezessete diferentes sistemas de iluminação natural e sombreamento para fachadas (sistemas fixos, móveis e combinados), foram considerados dez fatores de avaliação, entre os quais sombra, luz natural, proteção contra o brilho e desempenho térmico. Desses dezessete sistemas analisados por meio de simulação computacional com uso do Programa *RADIANCE*, somente nove deles atendem minimamente os quesitos sombra e luz natural juntos.

Na Tabela 1 são apresentados os dezessete sistemas analisados e as respectivas avaliações.

Tabela 1 - Avaliação do controle solar e uso da luz natural para sistemas de sombreamento

Sistemas Simples Sistemas Fixos	Sombra	Luz Natural	Proteção do brilho	Desempenho Térmico
1A Vidro refletivo/absortivo	médio	não	não	mau
1B Vidro refletivo/absortivo	médio	não	não	médio
1C Vidro eletrocromico	médio	não	médio	bom
2 Painéis Cortados à Laser <i>Plexiglas Luz Natural</i>	não	sim	não	bom
3 Prateleiras de luz ext+int	parcial	sim	não	muito bom
4 Quebra-sol horizontal	sim	não	sim	muito bom
5 Quebra-sol vertical	sim	não	não	muito bom

continua

continuação

Sistemas Simples Sistemas Móveis	Sombra	Luz Natural	Proteção do brilho	Desempenho Térmico
A1 Persianas internas	sim	não	sim	mau
A2 Persianas externas	sim	não	sim	muito bom
A3 Persianas dentro de vidros duplos	sim	não	sim	médio
B Veneziana LCP	não	sim	não	bom
C1 Veneziana externa de iluminação natural	sim	médio	sim	excelente
C2 Veneziana interna de iluminação natural	sim	médio	sim	médio
C3 Veneziana de iluminação natural dentro de vidro duplo	sim	sim	sim	médio
Sistema Combinados				
3+5 Prateleira de luz + Brises fixos	muito bom	muito bom	sim	muito bom
2+3+5 <i>Plexiglas</i> luz natural ou LCP + Prateleira de luz + Brise vertical	muito bom	excelente	sim	muito bom

(Fonte: Adaptado de LAAR, 2001).

No entanto, a configuração físico-geométrica de alguns dos sistemas analisados (não apresentada no trabalho) deve ter influído na baixa avaliação de alguns dos sistemas, como no caso das prateleiras de luz externa mais interna, quebra-sol horizontal e quebra-sol vertical, pois tanto a configuração físico-geométrica, quanto outras características, como a refletância das superfícies, influem decisivamente em relação aos critérios de avaliação adotados. Dos dezessete sistemas avaliados, os de melhor resultado nos aspectos de sombra, luz natural, proteção contra o brilho e desempenho térmico foram os sistemas combinados, como era de se esperar, como o sistema de Prateleira de luz + Brises fixos, e o sistema *Plexiglas* Luz natural ou *LCP* + Prateleira de luz + Brise vertical.

Também avaliando controle solar e iluminação natural nas aberturas, procurando identificar o desempenho de vários sistemas de sombreamento, Littlefair (1999) analisou quatorze tipos sob os critérios de transmitância solar total relativa para verão e inverno; horas de sobre-aquecimento; transmitância à luz natural relativa; controle do brilho; entre outros, como privacidade, regulação, orientação solar mais indicada. Os quatorze tipos analisados foram vidro duplo sem

sombreamento, marquise horizontal, bancada de luz, persiana externa, vidro absorvente, vidro refletivo ao calor, película para janela, redução da área de janela, venezianas inclinada a 45 graus, venezianas fixas a 45 graus, cortinas, venezianas, persiana de enrolar, persiana refletiva de enrolar.

A avaliação de Littlefair mostra que os dispositivos de proteção externos podem ser mais eficientes para a prevenção do sobre-aquecimento, que somente os sofisticados sistemas de persianas externas são realmente eficientes no controle dos ganhos de calor e de brilho do Sol juntos; além disso que alguns dispositivos têm baixa transmitância solar no verão e alta transmitância no inverno, e alta transmitância à luz natural, situações estas consideradas como os critérios ideais de proteção solar.

Sobre requisitos térmicos e de iluminação natural para sistemas de sombreamento, Kuhn *et al* (2000), num trabalho sobre avaliação da proteção contra o sobre-aquecimento com uso de sistemas de sombreamento, citam para o conforto térmico, altos ganhos solares no inverno, baixos ganhos solares no verão; e, para conforto visual suficiente disponibilidade de luz natural, iluminação homogênea, proteção contra o brilho.

A viabilização de um adequado balanço termo-luminoso em termos de recursos arquitetônicos para o controle solar e uso da luz natural tem-se mostrado difícil de obter na arquitetura, sendo comumente um desses requisitos de desempenho priorizado, junto com outros, como no caso o de visualização externa, de grande preferência por parte dos usuários. Neste tipo de situação arquitetônica, em boa parte do dia e em partes do ano, o visual externo desejado não é garantido, pois elementos internos de controle solar como cortinas, persianas, entre outros, são utilizados para o controle do brilho solar e/ou da insolação direta; outras vezes, o controle da insolação direta é demasiado, reduzindo a possibilidade de uso da luz natural difusa que chega até a abertura.

Kremer (2002), num trabalho acerca da influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural num protótipo escolar, comparou, por meio de simulação computacional da luz natural, quatro situações diferenciadas. Na situação de iluminação unilateral (uma abertura na fachada) em relação à iluminação bilateral (duas aberturas em duas fachadas opostas, sendo uma desta superior), o autor verificou nesta última situação um desempenho melhor em termos de níveis e de distribuição da iluminação natural. Outra situação

verificada foi a comparação de aberturas com elementos de proteção solar em relação à ausência destes, sendo comparados quatro tipos de brises (prateleira de luz, elemento horizontal, brise vertical, brise inclinado). Foram observadas as orientações solares Norte e Leste de acordo com o tipo mencionado, identificando que a presença dos elementos de sombreamento provocaram, na maioria das situações, a diminuição da zona excessiva de iluminância próxima às aberturas e melhoria da distribuição interna da iluminação; ao mesmo tempo, a presença dos elementos de controle solar provocou uma diminuição no nível de iluminação interno, aumentando a zona luminosa de iluminância insuficiente. Ainda nesta questão, o autor identificou que, em praticamente todas as situações do modelo sem brise, os níveis de iluminação já eram insuficientes e com a adição dos elementos de controle solar, os níveis de iluminação reduziram-se ainda mais. Como conclusão sobre os requerimentos termo-luminosos no que se refere à presença de elementos de controle solar e ao uso da luz natural, o autor afirma que na maior parte do dia e do ano, os elementos de obstrução solar podem ser considerados inoperantes e prejudiciais para a iluminação natural, pois sendo o céu encoberto o de maior ocorrência em Florianópolis, não há insolação direta e estes elementos perdem a função de proteger a abertura dos ganhos de calor solar.

Contrariamente a isso, pode-se dizer que a função dos elementos de controle solar é justamente controlar a insolação direta nos períodos em que ela está presente, ou seja, se existe essa necessidade, deve ser atendida, compreendendo que se devem procurar elementos de controle solar que também possibilitem o aproveitamento da luz natural para o interior dos ambientes, por meio da luz natural indireta, como a luz refletida ou filtrada.

Ainda no trabalho de Kremer, outra situação de análise foi a comparação da orientação das aberturas para Norte versus Leste, identificando que, para Norte, o nível de iluminação e a distribuição foram melhores, sendo o nível de iluminância média mais elevado, assim como ocorreu uma maior presença da zona luminosa com valores aceitáveis. O autor comenta ainda que, para Norte, existe maior facilidade do sombreamento das aberturas quando comparado à Leste, devido à geometria da insolação, bastando para Norte a existência de elementos horizontais sobre a abertura, protegendo do Sol direto nos períodos mais quentes, sem dificultar a visão exterior a partir das salas de aula. A última situação apresentada refere-se à refletância das superfícies, sendo identificada a existência de uma grande influência

da refletância no nível de iluminação interna, principalmente no aumento na iluminância interna no fundo da sala. Em contrapartida, quanto maior o nível de refletância, maior a possibilidade de ocorrência de brilho excessivo no campo visual dos ocupantes, devendo então haver valores adequados para as superfícies internas, no caso teto, paredes, quadro, piso, da sala de aula.

Macêdo (2002), com base em um modelo experimental em escala sobre análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação com a utilização da luz natural, avaliou em conjunto os benefícios térmicos e luminosos de seis tipos de sistemas de iluminação natural, com uso de um índice denominado *Solar System Luminous Efficacy (SSLE)* para estimar os impactos térmicos juntamente com as características luminosas de sistemas de abertura, (PLACE *et al*, 1984; BAUMAN, PLACE e ADERSSON, 1987). Esse índice representa a proporção de luz natural utilizada no plano de trabalho e o total de energia solar radiante admitida no espaço, expresso em lm/W. Dos seis tipos analisados, os de melhor desempenho, segundo este índice foram: abertura zenital com sistema de seleção angular, abertura lateral com prateleira de luz, abertura lateral com veneziana, abertura lateral com vidro simples, abertura lateral com painel cortado a laser (*PCL*), abertura zenital com vidro simples.

2.3 Abordagem Conceitual para Estudo da Luz Natural Admitida através de Aberturas com Elementos de Controle da Luz Direta

A luz natural admitida através de aberturas para o ambiente interno faz parte do fenômeno da recepção da radiação solar em diferentes comprimentos de onda na superfície terrestre, tratando de uma sensação visual que o ser humano experimenta.

Para avaliação da luz admitida, interessa conhecer, além da quantidade admitida, como ela se distribui no ambiente, desde a sua fonte externa (Sol e céu), passando pela abertura até o ambiente interno, sendo as propriedades refletivas dos materiais importantes nessa distribuição, visando garantir luz em quantidade e qualidade adequadas.

Moore (1991) apresenta uma abordagem de estudo da iluminação natural nos ambientes com a definição de um Modelo Conceitual de Projeto, englobando a

consideração da luz desde a sua Fonte, Trajeto e Alvo (figura 10). Neste tipo de abordagem, as diferentes partes da edificação ou de seu entorno contribuem com luz como Fonte, Trajeto ou Alvo, ou seja, desde o Sol/céu ou superfícies refletoras externas, passando pelas aberturas com seus tipos de materiais e respectivas propriedades ópticas, refletindo e/ou bloqueando por meio de elementos de controle solar externos ou internos à abertura, até atingir o ambiente interno, de forma direta ou devido às múltiplas reflexões internas.

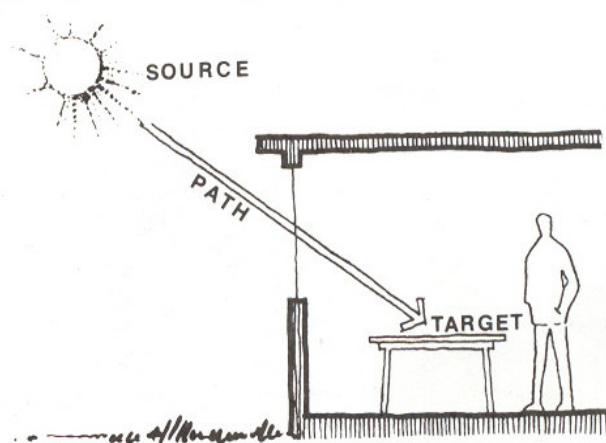


Figura 10 – Fonte, trajeto e alvo da luz natural

(Fonte: MOORE, 1991)

A fonte está relacionada ao Sol e/ou céu, no que se refere à radiação solar incidente, direta ou difusa. Ao mesmo tempo, uma abertura também pode ser considerada como fonte, visto que, para a luz natural, ela é um plano iluminante que recebe luz de uma porção do céu. O trajeto está relacionado às intervenções entre a fonte e o alvo no interior do ambiente, como as características físicas da abertura (dimensões, estrutura, etc), assim como a influência da radiação solar refletida pelo entorno construído próximo, entre outras características; esse mesmo entorno pode ser considerado como fonte, porque devido à luz refletida, contribui para a recepção de luz natural no interior do ambiente — o alvo. O alvo está relacionado à sua respectiva posição no ambiente, próximo ou não da abertura, na sua altura, assim como às relações geométricas que contribuem para a recepção de luz natural naquele ponto.

Sobre o desempenho de edifícios com luz natural, Fontoynt (1999) apresenta um estudo de caso em sessenta edifícios na Europa, citando a importância de uma avaliação objetiva, que permita um monitoramento em larga

escala das edificações avaliadas. Uma avaliação objetiva do desempenho de iluminação natural torna possível também, a nosso ver, comparações e identificação dos melhores resultados, dos acertos e erros ocorridos, como forma inclusive de re-alimentação para novos projetos.

Os sessenta edifícios analisados foram selecionados em função de suas interessantes características de iluminação natural, incluindo edifícios de aeroportos, vias cobertas com vidro, igrejas, museus, edifícios de escritório, edifícios educacionais, bibliotecas, casas e outros, que utilizam diversos sistemas ou recursos para admissão da iluminação natural, como: coberturas envidraçadas; lanternins; teto/piso translúcidos; átrios/pátios de luz; vias cobertas com vidro; fachada parede envidraçada; janelas; clarabóias; prateleiras de luz; dispositivos prismáticos/ópticos; iluminação natural secundária; controle passivo da luz solar direta; controle ativo da luz solar direta; *vídeo display units (VDUs)*; acabamento interno radiante; efeitos de coloração.

Na avaliação dos edifícios realizada por Fontoynt, foram identificados *in loco*, a partir de medições, o fator de luz diurna sob condições de céu encoberto; a refletância e transmitância de superfícies opacas e transparentes; a luminância no campo de visão dos ocupantes; a homogeneidade de penetração da luz natural; o fluxo luminoso admitido através das aberturas; a identificação da penetração de luz natural no espaço (luz difusa e luz direta).

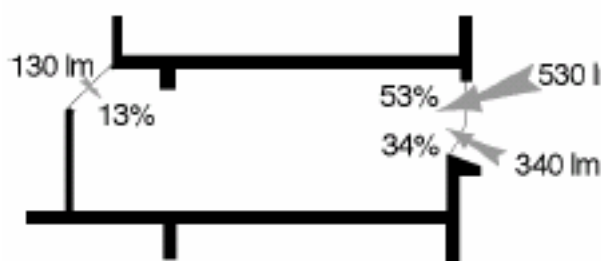


Figura 11 - Exemplo de avaliação do fluxo luminoso natural admitido num ambiente (Fonte: FONTOYNONT, 1999)

Na Figura 11 é apresentado um exemplo da avaliação do fluxo luminoso natural admitido num ambiente das edificações analisadas, sob condições normalizadas de céu encoberto uniforme, considerando uma iluminância externa de 10 000 lux.

A avaliação objetiva realizada nos sessenta edifícios analisados com os

sistemas de iluminação natural citados identificou, entre outros aspectos, que os sistemas simples de iluminação natural têm melhor desempenho, e que uma combinação de sistemas simples tem melhor desempenho do que sistemas avançados de iluminação natural; a adição de pequenas aberturas apresenta melhor desempenho na iluminação natural do que o aumento da área delas.

Sobre luz natural e controle/admissão da insolação nas aberturas, Pereira (1994) comenta que existem algumas diferenças entre planejar para insolação e para iluminação natural, uma vez que o acesso à insolação está ligado a questões térmicas e sofre influência direta das trajetórias aparentes do Sol, significando obstruir ou não a visão de determinadas porções do céu em diferentes épocas do ano. Já o acesso à iluminação natural envolve garantir a visão de uma porção do céu independentemente da orientação.

As questões de admissão de luz natural nas edificações também aparecem na literatura na temática de sustentabilidade, em trabalhos sobre princípios de projetos sustentáveis, ou seja, numa visão do aproveitamento da luz natural que proporcione racionalização do consumo energético, dos recursos naturais, integração com a natureza e uma visão de arquitetura que otimize a utilização dos recursos naturais do planeta.

Na temática da sustentabilidade na arquitetura e urbanismo, abordando a iluminação natural, Taylor (2000), num trabalho sobre aplicação de princípios de projeto sustentáveis num caso de estudo para o Reino Unido, cita que o projeto da fachada, da cobertura, do envidraçado e dos protetores solares responde para a melhoria da iluminação natural, mas exclui o Sol devido aos ganhos de calor e brilho.

2.4 Comportamento Radiante das Aberturas

A quantidade de luz natural transmitida através dos vidros varia segundo as suas propriedades ópticas de transmitância (τ), refletância (ρ) e absortância (α), influenciadoras das parcelas transmitida, refletida e absorvida nos vidros adotados nas aberturas, que influenciam a quantidade de energia térmica e luminosa transmitida ao interior das edificações. Na Figura 12, é ilustrado esse

comportamento variado dos tipos de vidros de acordo com as suas parcelas de transmissão.

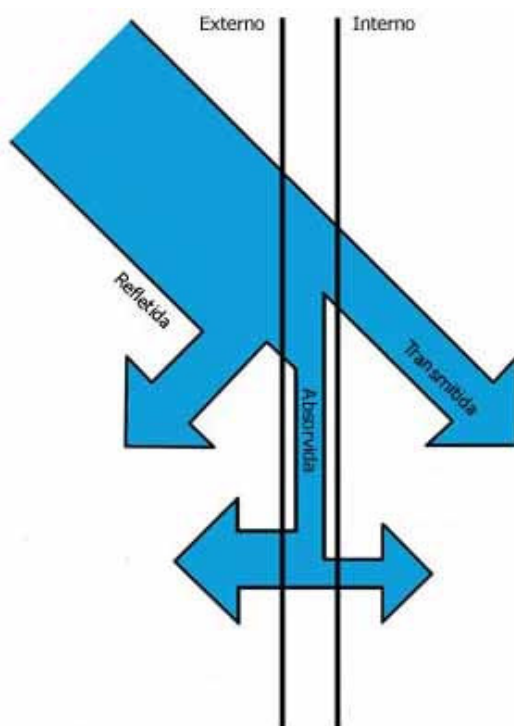


Figura 12 – Radiação solar incidente num vidro e as parcelas transmitida, refletida e absorvida

(Fonte: adaptado de www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia47.asp, 2006)

Para aberturas simples, sem obstáculos ou elementos de controle, a estimativa da luz natural transmitida é fácil, dependendo principalmente da transmitância do vidro e do ângulo de incidência da luz.

No entanto, para aberturas com obstáculos ou elementos de controle de geometria complexa, a estimativa da luz natural transmitida assume maior complexidade. Para isso, é necessário conhecer o comportamento da luz frente à abertura, mais o efeito de obstrução dos elementos de controle, visando caracterizá-la como uma fonte de luz.

Segundo McCluney (1987), as propriedades de transmitância, refletância e absortância são influenciadas pela direção de incidência sobre o material e por cada comprimento de onda de radiação, sendo que alguns materiais são seletivos, ou seja, suas propriedades ópticas variam de acordo com a incidência de radiação e conforme o comprimento de onda de radiação.

2.4.1 Propriedades Ópticas para a Caracterização do Comportamento Luminoso de Aberturas

Para a caracterização do comportamento luminoso de aberturas com obstáculos protetores, como do tipo elementos de controle solar - ECS que influenciam na admissão da luz natural para o ambiente interno, duas propriedades ópticas são fundamentais de ser conhecidas: a transmitância direcional hemisférica (T_{dh}) e a transmitância bidirecional hemisférica (T_{bh}).

Com a determinação da transmitância direcional hemisférica a partir da direção da luz natural incidente (altura e azimuth) e do tipo de ECS existente e envidraçado, é conhecida a quantidade de luz admitida após passar pela influência daquelas obstruções existentes, sendo a T_{dh} igual ao quociente entre o fluxo luminoso admitido (transmitido) e o incidente. Assim, com esta propriedade se conhece a direção da luz incidente e o quanto é admitido (transmitido) para o ambiente interior, sem, no entanto, conhecer a forma de distribuição espacial na luz natural admitida.

Com a determinação da transmitância bidirecional hemisférica a partir da direção da luz natural incidente (altura e azimuth) e do tipo de ECS existente e envidraçado, são conhecidas tanto a quantidade de luz admitida após passar pela influência daquelas obstruções existentes, como a sua distribuição espacial interior. De acordo com Papamichael e Selkowitz (1987), esta propriedade proporciona a melhor descrição do comportamento luminoso de sistemas de aberturas, pois identifica a direção da luz incidente e sua distribuição para o ambiente interno após passar pela abertura.

Estas duas propriedades ópticas possibilitam identificar a quantidade e a distribuição espacial da luz transmitida através de aberturas para o ambiente interno, como no caso de janelas com obstáculos (como os elementos de controle solar) que se comportam como fonte de luz superficiais, transmitindo a luz de forma assimétrica.

2.4.2 A Luz Natural Desejada

Junto à luz natural admitida através de uma abertura, ganhos de calor solar também são admitidos. Esses ganhos, muitas vezes, são indesejáveis quando se quer manter a luz solar direta fora do ambiente interno (caso dos ambientes de

trabalho), evitando ofuscamento, degradação dos materiais, assim como impedindo o sobre-aquecimento do ambiente interno nos períodos quentes e/ou aumento indesejado da carga térmica de resfriamento.

Entretanto, quais as razões para utilização da luz natural nos ambientes internos se, para isso necessita haver uma série de preocupações?

Robbins (1986) cita como razões para utilização da luz natural, dentre outras:

- qualidade da luz;
- importância da luz como elemento de projeto;
- visão exterior (aberturas voltadas para o exterior são um canal de comunicação visual com o exterior);
- conservação de energia resultante do uso da luz natural como fonte primária ou secundária de iluminação;
- benefícios psicológicos e fisiológicos não obtidos com iluminação elétrica ou edifícios sem aberturas;
- desejo de ter luz natural no interior dos ambientes.

Além dessas razões, pode-se acrescentar o reduzido custo para utilização desta energia.

A própria luz natural é desejada até certa quantidade, pois tanto valores baixos como altos são inadequados; os primeiros por dificultar a visão por níveis de iluminância insuficientes e os segundos por ocasionar ofuscamento no campo de visão devido ao excesso de brilho. Nesse sentido, a avaliação da iluminação natural no ambiente interno de uma edificação necessita considerar as zonas luminosas definidas segundo a penetração da luz através das aberturas.

No que se refere à intenção de uso da luz natural nas edificações a partir do projeto de arquitetura, ainda é comum (se não até dominante) ver profissionais de arquitetura abordando a necessidade de utilização da luz natural nas edificações a partir do ponto de vista de insolação, isto é, deseja-se boa insolação e quanto mais luz melhor, o que não é adequado, como citado.

Parte desse tipo de interpretação conceitual é decorrente de valores culturais estrangeiros por causa da influência cultural e econômica dos principais países da Europa e dos EUA, e também valores adquiridos durante a formação de graduação em arquitetura. Durante essa formação, boa parte do estudo de obras de grandes arquitetos referem-se àquelas localizadas predominantemente na Europa e Estados Unidos, majoritariamente nas suas partes temperadas e frias, onde a necessidade

de aumento dos ganhos de calor solar são as dominantes do ponto de vista do conforto térmico; logo, quanto mais insolação, aparentemente melhor é a situação.

Uma expressão muito utilizada “por um lugar ao Sol”, válida para locais de clima frio e temperado é entendida como adequada e transferida para o Brasil tropical, ao invés da alteração para “por um lugar à sombra”.

Sobre a luz natural, Corbella e Magalhães (2000) afirmam que *Na Europa, há necessidade de janelas grandes devido à pouca luz da abóbada celeste. As grandes janelas também servem como calefadores, pois comportam-se como estufas. Nos trópicos, o problema é outro: consiste em como deixar passar mais luz, sem que isto implique o ingresso de calor (p.80)*. Cabe ressaltar que na Europa também existem diferenças climáticas significativas, com maior disponibilidade de luz natural junto aos países do Sul, diferentemente dos países da Europa Central e do Norte, de clima predominantemente temperado e frio, com menor disponibilidade de luz natural.

Abordar as questões sobre uso da luz natural nas edificações em países de clima frio e temperado, assim como nos tropicais e sub-tropicais, passa inevitavelmente por conhecer o comportamento da luz transmitida através da janela, reconhecendo a sua variação quantitativa e de distribuição espacial em função dos obstáculos existentes nas janelas, como os elementos de controle solar que bloqueiam parte da luz e/ou a redirecionam por reflexão para o ambiente interno, caracterizando-se como uma fonte de luz assimétrica.

Diversas situações são encontradas nas edificações sobre utilização da luz natural, desde as situações de ausência de controle da luz solar direta nas aberturas, muitas vezes sob a justificativa como intenção de projeto em aproveitar a luz natural. Esta situação descrita representa uma utilização inadequada, pois a luz natural utilizada de forma direta é prejudicial ao conforto térmico e luminoso, além da degradação dos materiais, entre outros aspectos negativos.

Com a luz solar direta incidente no ambiente interno, o usuário das edificações procura bloquear esse excesso de luz por meio de cortinas, persianas internas, impedindo o contato visual externo e o acesso à própria luz natural disponível. Por outro lado, muitas vezes o que acontece é o oposto, com situações de excesso de controle da luz solar direta (super-dimensionamento de elementos de controle solar), impedindo também a possibilidade de melhor uso da luz natural.

2.5 Avaliação da Iluminação Natural Interior e da Luz Natural Admitida com Caracterização do Comportamento Luminoso das Aberturas

A avaliação da iluminação natural recebida no interior dos ambientes pode ser feita por meio de diferentes métodos, como os classificados a seguir:

- Métodos simplificados para avaliação preditiva da iluminação natural interior recebida através de aberturas simples, sem elementos de controle solar e/ou outros tipos de obstruções de geometria complexa.

- Métodos para avaliação da iluminação natural interior recebida através de aberturas por meio de medições de campo.

Já a avaliação da luz natural admitida através de aberturas de geometria complexa e/ou com elementos de controle solar pode ser feita da seguinte forma:

- Métodos caracterizadores do comportamento luminoso de aberturas. Nestes métodos, a abertura como fonte de luz é tratada de maneira complexa devido às suas características como um plano radiante assimétrico de luz em função das obstruções existentes, como os elementos de controle solar que alteram a trajetória da luz para o ambiente interno.

2.5.1 Métodos caracterizadores do comportamento luminoso de aberturas com elementos de controle solar de geometria complexa

Uma abertura com obstruções como do tipo de elementos de controle solar de geometria complexa comporta-se como fonte de luz conforme um plano radiante assimétrico, emitindo luz numa certa quantidade e numa distribuição espacial variada.

Para determinar essa variação quantitativa e a respectiva distribuição espacial da luz admitida para o interior, necessita-se conhecer o comportamento radiante ou luminoso da abertura, em que a admissão da luz para o ambiente interno sofre um conjunto de intervenções (obstruções, reflexões).

Assim como são utilizados diversos tipos de goniofotômetros para caracterizar o comportamento luminoso (quantidade e distribuição espacial) de lâmpadas, pode-se também adotar variações desses tipos de equipamentos para conhecer o

comportamento luminoso de sistemas de aberturas complexos, sendo a abertura considerada como a fonte de luz de análise, análogo à situação das lâmpadas.

Para a caracterização luminosa das aberturas com diferentes tipos de ECS que influenciam na admissão da luz natural para o ambiente interno, duas propriedades ópticas são fundamentais de ser conhecidas — a transmitância direcional hemisférica (T_{dh}) e a transmitância bidirecional hemisférica (T_{bh}).

No próximo item são apresentados os métodos que possibilitam conhecer o comportamento quantitativo da luz admitida (transmitida através da abertura) e sua distribuição espacial para o ambiente interno.

2.5.1.1 Métodos Experimentais de Laboratório

Por meio de instrumental próprio, a luz transmitida que atravessa as aberturas é determinada, possibilitando inclusive a certificação de janelas com diferentes tipos de vidros. Para aberturas com elementos de controle solar, é necessária a reprodução adequada do tipo a ser ensaiado, ou ainda um modelo em escala reduzida.

Podem-se citar dentre os métodos existentes os seguintes:

Radiômetro Escaneador Direcional pelo Uso da Esfera Integradora (*Sanning Radiometer* ou *Direcional Radiometric Scanner*), desenvolvido no *Lawrence Berkeley Laboratory* em 1981 para medir a transmissividade e refletividade direcional da luz em janelas e seus componentes (KESSEL E SELKOWITZ, 1984), adiante apresentado na figura 13.

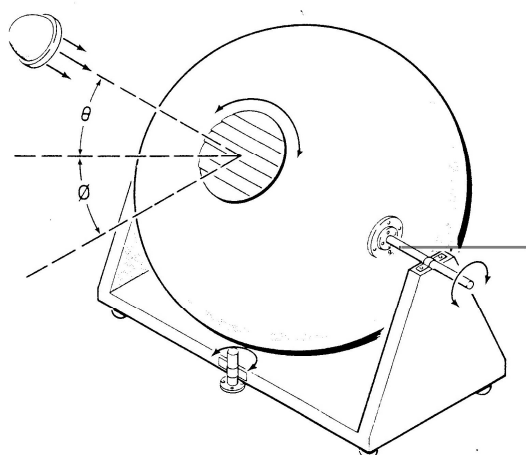


Figura 13: Radiômetro escaneador direcional pelo uso da esfera integradora
(Fonte: KESSEL e SELKOWITZ, 1984)

Kessel e Selkowitz (1984), pesquisadores do Lawrence Berkeley Laboratory, apresentam esse equipamento, uma esfera integradora para medição do fluxo radiante ou térmico total transmitido que afeta a iluminação natural e o desempenho térmico do sistema de aberturas. Demonstram então os resultados de uso da esfera integradora para determinar a transmitância hemisférica direcional de materiais envidraçados, sistemas de aberturas (incluindo complexos sistemas de sombreamento). Com uma simples medição da iluminância interior, a esfera integradora proporciona informações equivalentes ao somatório de medições de muitas luminâncias devido ao hemisfério no qual se está testando a transmitância. Historicamente, a esfera foi primeiramente usada na medição do fluxo luminoso de saída de lâmpadas analisadas em seu interior. Independentemente da distribuição espacial do fluxo vindo da lâmpada, a iluminância na esfera é proporcional ao fluxo total e pode se comparar seu valor com o de uma fonte de referência. Os autores evidenciam ainda que uma esfera integradora de tamanho similar foi utilizada em 1951 para medição de propriedades óticas de blocos de vidro.

Papamichael, Klems e Selkowitz (1988) afirmam que, para sistemas de aberturas simples, com uma ou mais camadas de vidro claro, pintado ou pigmentado, em que os principais efeitos óticos são a absorção, a transmissão unidirecional e a reflexão especular, procedimentos normatizados de cálculo, baseados em medições fotométricas de propriedades óticas de materiais, são adequados para determinação da transmissão solar; para estes sistemas, existem programas computacionais para cálculo dos níveis internos de iluminação. Os autores afirmam ainda que, para situações com venezianas, persianas, cortinas nas quais a transmitância difusa e/ou a reflexão espacial são heterogêneas, e são usadas para controle do ganho de calor solar e níveis de iluminação, os procedimentos normatizados à época não eram adequados.

Os autores apresentam então o uso do radiômetro escaneador bidirecional para determinação das propriedades ótico-solares de transmitância bidirecional de sistemas de aberturas (figura 14), visando avaliar o desempenho térmico e luminoso, tanto em termos quantitativos com em relação à distribuição espacial da luz admitida. Esse equipamento consiste basicamente numa superfície vertical circular móvel (em dois eixos), onde é posicionada uma amostra de elemento de controle solar a ser analisada, dirigida a uma fonte de luz; no lado oposto à fonte, existe um detector que pode ser posicionado em diversos pontos de “varredura” da luz natural

que atravessou a amostra em estudo, identificando assim a luz natural admitida após a passagem pela influência de determinado elemento de controle solar.

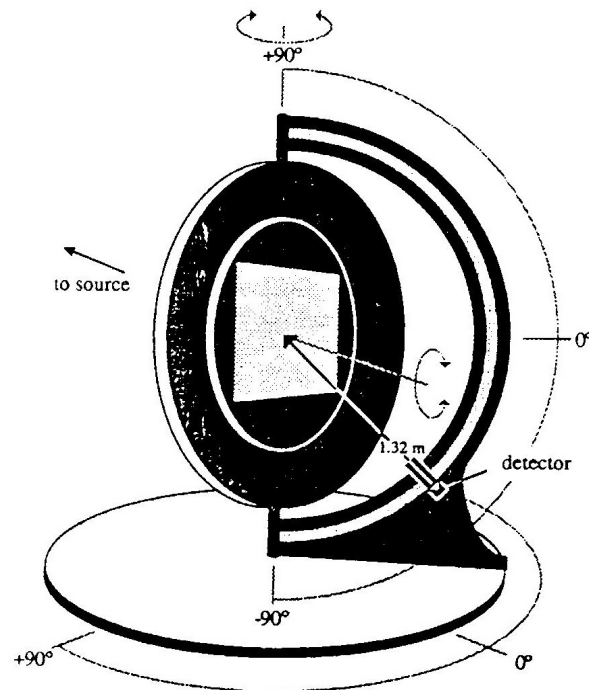


Figura 14 - Radiômetro escaneador bidirecional

(Fonte: PAPAMICHAEL, KLEMS e SELKOWITZ, 1988)

Segundo LBNL (2004), o método do radiômetro escaneador bidirecional (*Bidirecional Radiometric Scanner*) é preciso para a medição do ganho de calor solar de sistemas de aberturas com proteções solares diversas como lâminas, persianas, cortinas e uma variedade de tipos de vidros, tintas, pigmentos e espessura de vidros, utilizando, entre outros equipamentos, uma esfera integradora.

Na Figura 15 é apresentada a utilização do radiômetro escaneador do LBNL, (LBNL, 2004), com a colocação de uma amostra para ensaio.

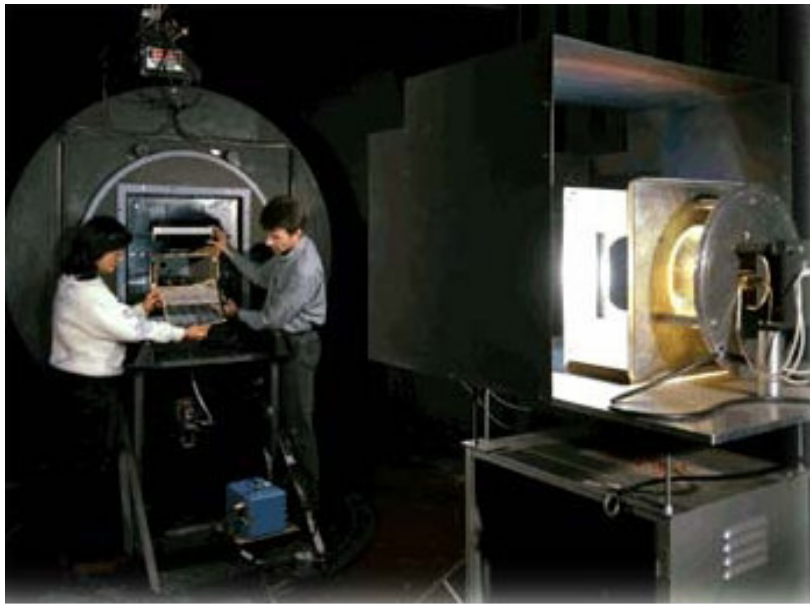


Figura 15 - Posicionamento de uma amostra no radiômetro escaneador bidirecional.
(Fonte: LBNL, 2004)

IEA (1999) apresenta medições de características luminosas de diversos materiais para iluminação natural, como medições direcionais e bidirecionais da transmitância da luz; estas últimas, representativas da distribuição espacial da luz. O trabalho citado apresenta essas medições para sistemas de iluminação natural de filme prismático para vidro, vidro direcionador-solar (*lumitop*), e *plexiglas*. Para essas medições bidirecionais apresenta o goniofotômetro bidirecional do *EPFL* (*Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*), com base em técnicas de imagem digital (Figura 16). Para a medição de propriedades térmicas e radiantes dos materiais analisados, o autor declara que existem diferentes métodos normalizados de medições calorimétricas e cálculos.

O goniofotômetro bidirecional é composto de um suporte mecânico móvel controlado por computador, apresentando dois eixos principais de rotação, precisamente controlados. A fonte de luz está localizada 6 m acima, consistindo numa lâmpada de descarga com alta eficácia luminosa e temperatura de cor próxima da luz natural (5600 K).

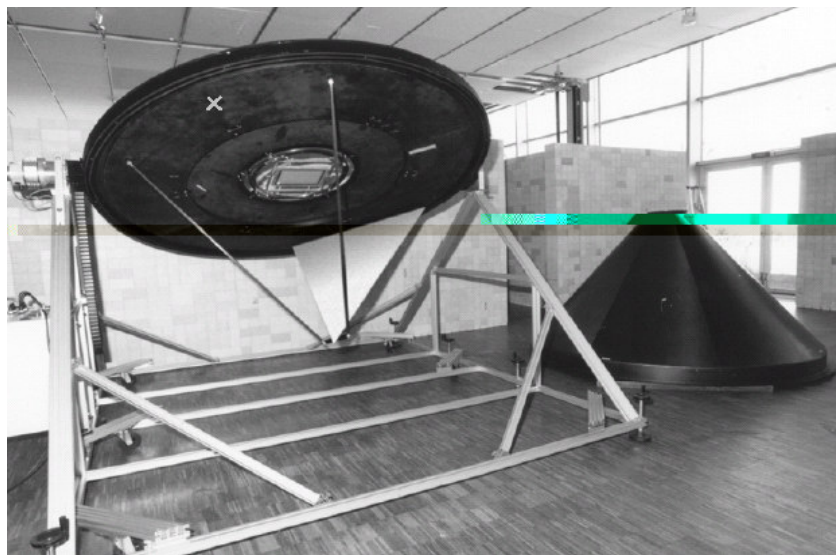


Figura 16 - Goniofotômetro bidirecional do *EPFL*

(Fonte: IEA, 1999)

Ainda são apresentados pelo autor outros equipamentos visando à medição bidirecional da transmitância/refletância da luz, como um aparato para medição de grandes amostras de material do *ISE (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems)*, e o goniofotômetro espiral da *TUB (Berlin University of Technology)* (Figuras 17 e 18).

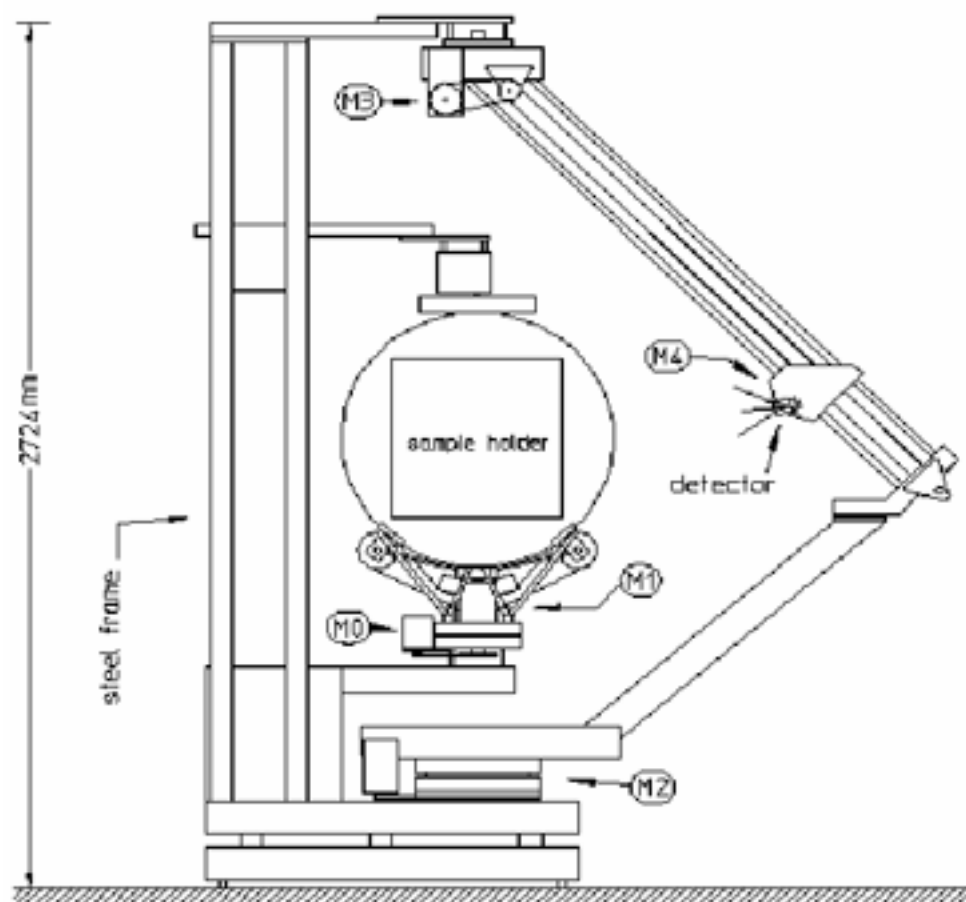


Figura 17 - Aparato para medição bidirecional da luz – ISE

(Fonte: IEA, 1999)

Este equipamento consiste em duas fontes de luz fixas, uma amostra exemplo ajustável e uma célula solar móvel como um detector. Todas as posições angulares são controladas por computador, usando uma estação de trabalho para armazenamento dos dados das medições.

Outro equipamento citado, o goniofotômetro espiral, é ilustrado na Figura 18.

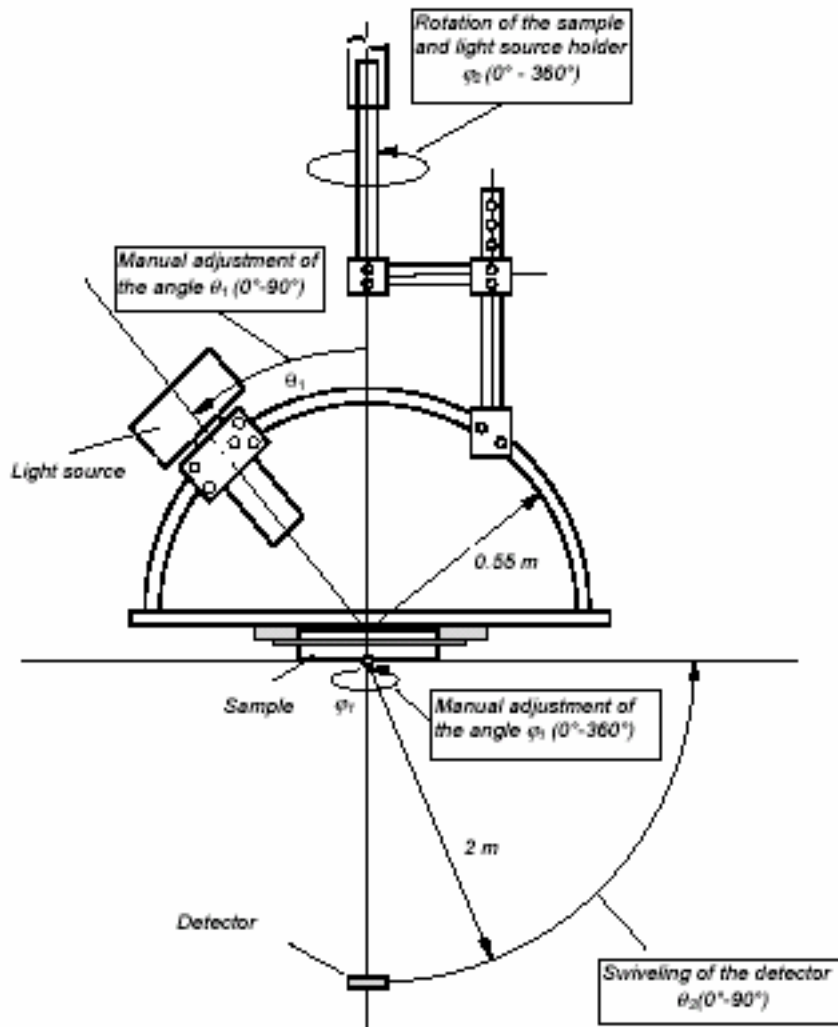


Figura 18 - Goniofotômetro espiral –TUB

(Fonte: IEA, 1999)

O goniofotômetro consiste na superfície de uma hemisfera de raio 2 m, escaneada numa forma espiral pela rotação da amostra e da fonte de luz ao redor de um eixo vertical e, simultaneamente, o movimento do detector num eixo horizontal; a fonte de luz é uma lâmpada incandescente, e seu ajuste angular é manual.

Maamari *et al* (2006) apresentam trabalho sobre validação experimental de métodos de simulação da propriedade de transmissão bidirecional da luz para o nível de desempenho da iluminação natural, citando como métodos de avaliação dessas propriedades o vídeo-goniofotômetro bidirecional e o goniofotômetro numérico.

O vídeo-goniofotômetro bidirecional citado faz as análises por meio de técnicas de imagem digital desenvolvidas no *LESO-PB-EPFL*; já sobre os goniofotômetros numéricos, os autores apresentam o do *LESO-PB-EPFL*, que reproduz virtualmente as condições experimentais de um goniofotômetro com o Programa *TracePro* (que trabalha com o modelo do raio-traçado); além do *FHG-IBP*, que representa um ambiente automatizado, possibilitando testes virtuais, baseados na utilização do Programa *Opticad* (usando o modelo do raio-traçado).

De Boer (2006), num trabalho sobre modelagem interna da iluminação com base em dados fotométricos bidirecionais para sistemas complexos de aberturas, apresenta resultados das análises para três tipos de materiais (vidro acrílico difuso; vidro redirecionador de luz; persiana direcionadora de luz); afirma que, para avaliação da transmitância bidirecional da luz, pode ser utilizada a goniofotometria. No método adotado pelo autor, os resultados da transmitância bidirecional da luz são baseados no princípio do cálculo da distribuição da intensidade luminosa a partir de dados fotométricos bidirecionais.

Ainda sobre a avaliação da transmissão do fluxo luminoso e sua distribuição espacial através de aberturas por meio de uso de instrumentos de laboratório, Andersen e De Boer (2006) apresentam importante trabalho com uma ampla revisão sobre as principais ferramentas para avaliação da transmissão bidirecional ou distribuição da reflexão de sistemas de aberturas complexos, citando no total nove tipos de goniofotômetros.

2.5.1.2 Programas de Simulação Computacional

Os programas computacionais simplificados possibilitam somente a avaliação da iluminação natural existente no ambiente interno em situações de geometria simples da abertura e do local, não possibilitando a avaliação de situações com ambientes de geometria variada, nem tampouco de situações de aberturas com elementos de geometria complexa, como no caso de elementos de controle solar.

Já o uso de programas de simulação computacional do fenômeno luminoso, a partir de algoritmos de cálculo complexos representativos dos fenômenos físicos envolvidos, possibilitam a avaliação de situações complexas quanto à geometria do local e de elementos de controle solar na abertura.

Esses programas em geral são utilizados por pesquisadores, não possuem boa *interface* com o usuário, são de demorada aprendizagem e de grande detalhamento para as análises pretendidas.

Possuem como vantagem, além de informação quantitativa acerca da luz natural admitida no ambiente de estudo modelado, a definição de imagens de visualização da luz, criando ambientes visuais virtuais representativos daquela situação analisada.

Este autor acredita ser estimulante para boa parte dos arquitetos essa visualização, pois os mesmos estão acostumados aos processos gráficos e visuais de desenvolvimento de projeto de edificações; no entanto, não se apresentam como de fácil manuseio para o profissional comum de projeto de edificações.

Dentre os principais programas de simulação computacional da luz natural, podem-se citar ADELIN, SUPERLITE, LUMEN-MICRO, RADIANCE, ECOTECT, LIGHTSCAPE, TROPLUX e APOLUX, com dezenas de trabalhos publicados na literatura, à exceção dos dois últimos programas, mais recentes.

Destes, o RADIANCE, LIGHSCAPE e APOLUX são do tipo de programas que permitem a caracterização luminosa de diferentes sistemas de aberturas com elementos de controle solar ou obstáculos junto à abertura; os demais programas citados realizam apenas análises de iluminação natural recebida no ambiente interno em situações de aberturas do tipo simples.

Sobre a utilização do APOLUX, Lemes e Pereira (2005) apresentam em trabalho a comparação de resultados de simulação dos programas APOLUX e LIGHTSCAPE com medições em modelos em escala reduzida, citando que *ambos se mostraram ferramentas eficazes na análise do comportamento da luz natural em ambientes internos, tendo o APOLUX mostrado um melhor desempenho na reprodução da distribuição da luz natural nos pontos próximos às aberturas laterais.*

Souza *et al* (2005) também apresentam resultados adequados com uso do programa APOLUX de simulação da luz natural quando comparado ao programa LIGHSCAPE e medições em maquete, afirmando que *o APOLUX mostrou um desempenho considerado bom na predição de iluminâncias internas.* Também afirmam que, *diferentemente do programa LIGHSCAPE 3.2, que tende a apresentar uma distribuição de luz simétrica em relação ao centro da abertura, o APOLUX conseguiu reproduzir a lateralidade da entrada de luz no ambiente interno, nos pontos próximos a abertura.* Os autores informam que as diferenças encontradas

entre os valores medidos e simulados pelo APOLUX, referem-se a limitações inerentes ao próprio algoritmo do programa, como no caso da consideração da reflexão da luz em igual intensidade em todas as direções, considerada na Teoria da Radiosidade do qual o programa foi estruturado, o que dificilmente ocorre em ambientes reais.

Sobre a Teoria da Radiosidade, Claro (1998) afirma que consiste numa de duas abordagens de tratamento da iluminação em computação gráfica (a outra é o método do raio-traçado, aplicado com particular êxito na análise dos fenômenos especulares das trocas luminosas), decorrentes de modelos desenvolvidos na área da física acerca dos fenômenos da radiação térmica e luminosa. Neste método, as trocas de energia luminosa ocorrem entre superfícies consideradas difusores perfeitos (distribuem a luz em intensidade igual em todas as direções) e tratam o modelo como um todo, a partir da definição de suas propriedades geométricas e físicas. Estes dois métodos identificados tratam o que é denominado, segundo Claro, de iluminação global, envolvendo os diferentes tipos de comportamento da luz diante dos diferentes meios do ambiente. No entanto, ainda segundo o autor, existe a necessidade de que ambos os métodos convirjam no tratamento da iluminação global (por meio de modelos denominados híbridos - radiosidade com segundo passo raio-traçado, ou raio-traçado com aproximações locais de radiosidade). Isto deve ao fato de que os dois métodos tratam parcialmente de aspectos diferenciados dos fenômenos luminosos, tendo dificuldade em tratar aspectos que não os especulares ou difusos, como no caso da difusão direcional característica comum nas superfícies reais.

O programa APOLUX citado trabalha com o algoritmo da radiosidade conhecido e já validado. O algoritmo calcula as trocas luminosas entre materiais opacos difusos, permeadas por materiais transmissores especulares, indicando resultados adequados do comportamento da luz natural no ambiente interno, conforme citado.

Sobre o uso de programas de simulação computacional, Lam e Li (1999) apresentam uma análise sobre iluminação natural e calor solar para diferentes tipos de aberturas em edifícios de escritórios climatizados (em clima subtropical), mostrando uma correlação entre gastos em eletricidade em climatização e áreas de aberturas para luz natural e insolação. Nesse trabalho, é apresentado o

desempenho energético total de diferentes tipos de aberturas em termos de combinação de áreas de janela e tipo de vidro.

Os métodos de simulação computacional muitas vezes permitem inclusive análises termo-energético-luminosas, identificando diferentes variáveis de análise para avaliação de um projeto de edificação.

Na questão do uso de simulação computacional para avaliação termo-energética e de iluminação natural em edificações, diversos autores citam a utilização desses tipos de ferramenta para avaliação de projeto, como Bodart e De Herde (2002), utilizando os programas TRNSYS para desempenho termo-energético e ADELINe para luz natural; Laar (2001) o programa RADIANCE para luz natural; Fadzil e Sai (2004), o programa ADELINe para luz natural e SUNTOOL para dimensionamento de proteções solares; Lee, DiBartolomeo e Selkowitz (1998), o programa RADIANCE para luz natural; Lam e Li (1999), o programa DOE-2 para desempenho termo-energético; Kapur (2004), o programa RADTHERM para desempenho termo-energético; Kragh, Colombari e Zobec (2002), o programa TRNSYS para desempenho termo-energético; Grimme e Laar (1999), o programa HELIOS para dimensionamento de proteções solares, entre outros autores.

Nos programas de avaliação da luz natural com a caracterização do comportamento luminoso das aberturas, o conhecimento da propriedade óptica de transmitância bidirecional hemisférica é fundamental, pois representa para determinadas situações a forma de incidência da luz natural na abertura e como ela se distribui para o ambiente interno.

Dentre esses métodos de projeto e de avaliação da iluminação natural em ambientes internos, pode-se dizer que atualmente os estudos de simulação computacional da iluminação natural são os mais promissores, tanto para projeto como para avaliação da situação existente em ambientes internos, permitindo análises paramétricas das mais diversas, com geração de resultados numéricos e imagens de visualização de efeitos luminosos dos mais diversos.

Este autor acredita que a integração desses métodos computacionais, com os programas *CAD* de desenvolvimento de projeto, consiste numa das questões-chave para uma maior consideração nas situações de iluminação natural nas edificações, assim como em outras áreas também.

Relacionado a isso, Hong, Chou e Bong (2000) apresentam os rápidos avanços na tecnologia de simulação computacional de edificações, com algumas

possibilidades futuras, como no caso de uso da realidade virtual, criando em 3D uma imersão sensorial do usuário num ambiente que responde interativamente às respostas e controles efetuados pelo usuário, na análise a ser realizada.

A situação de um módulo de análise de iluminação natural acoplado a um programa *CAD* seria um avanço no sentido de maior integração projetual, unindo os parâmetros geométricos-visuais da expressão formal do projeto, com imagens do comportamento da luz e parâmetros quantitativos, identificadores na adequação ou não das ações projetuais previstas em termos de melhor aproveitamento da luz natural. O programa ECOTECT citado faz isso de forma simplificada, podendo trabalhar junto a um programa CAD, analisando a luz natural com avaliação do fator de luz diurna em ambientes internos.

Sobre o uso da simulação computacional para estudos de admissão da luz natural através de aberturas, Andersen e De Boer (2006) indicam a flexibilidade dos modelos virtuais, permitindo estudos paramétricos diversos, ensaios com menor custo quando comparados aos métodos experimentais de laboratório.

Os métodos em ambiente virtual de simulação computacional, com utilização dos programas RADIANCE, LIGHTSCAPE, APOLUX, possibilitam a caracterização do comportamento luminoso de fontes de luz (como as aberturas) com elementos de controle solar de geometria complexa, com a representação virtual de ambientes de estudo, por exemplo, uma hemisfera detectora da transmissão bidirecional da luz, ou o hemicubo, ambas representações que possibilitam o estudo da luz admitida e sua distribuição espacial interior.

2.6 Identificação dos Principais Métodos Caracterizadores do Comportamento Luminoso de Aberturas como Subsídio para o Método Proposto

Na revisão de literatura, foram identificados os principais métodos de avaliação do comportamento luminoso de aberturas a partir de procedimentos experimentais e/ou de simulação computacional que subsidiam o método proposto com o uso de um ambiente virtual para uso de simulação computacional, para medição do fluxo luminoso admitido e sua distribuição espacial para o ambiente interno.

Conforme apresentado, segundo Papamichael e Selkowitz (1987), as propriedades óptico-solares que proporcionam uma detalhada descrição do comportamento radiante de sistemas de aberturas são determinadas considerando que o comportamento radiante de qualquer objeto pode ser descrito como uma função das direções da radiação recebida e enviada e seu respectivo comprimento de onda.

Assim, conhecendo-se essas propriedades óptico-solares bidirecionais de um sistema de abertura, a partir da simulação de uma hemisfera com uma abertura numa das faces, podem-se integrar os valores da radiação total transmitida e absorvida na abertura, como também é possível conhecer a distribuição luminosa da radiação vinda da abertura e direcionada para o interior da hemisfera. Desse modo, mapeando-se o interior da hemisfera receptora de luz natural a partir da abertura, identificam-se as várias direções de admissão de luz natural incidente, que junto com os valores admitidos na abertura, representam a quantidade da luz natural advinda do exterior.

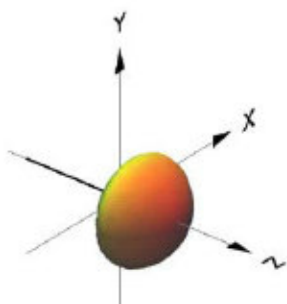
Dentre os métodos já apresentados para a caracterização do comportamento luminoso de aberturas, podem-se destacar os que se utilizam de equipamentos rastreadores da luz direcionada a uma determinada amostra de análise, identificando de formas diferentes, segundo cada equipamento, a quantidade de luz existente e sua distribuição espacial interna. Dentre os principais equipamentos citados, estão os radiômetros escaneadores direcional e bidirecional, identificados segundo os autores mencionados (KESSEL E SELKOWITZ, 1984); (PAPAMICHAEL, KLEMS E SELKOWITZ, 1988); (LBNL, 2004), assim como diversos tipos de goniofotômetros (IEA, 1999), (MAAMARI *et al*, 2006), (ANDERSEN E DE BOER, 2006).

Os diversos equipamentos para avaliação do comportamento luminoso de aberturas com diferentes tipos de elementos de controle solar e/ou envidraçados são de custo de aquisição/montagem e operação elevados, que demandam ensaios laboratoriais demorados; também as amostras a serem ensaiadas possuem custo elevado. Além disso, os equipamentos estão disponíveis em poucas instituições, não possibilitando fácil acesso a outros pesquisadores interessados na sua utilização.

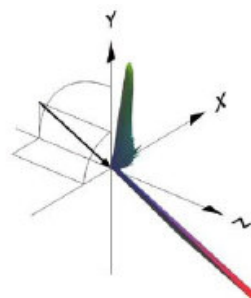
Sobre isso, Andersen e De Boer (2006) apresentam as características principais de nove goniofotômetros bidirecionais projetados para avaliação experimental de componentes de fachada e sistemas de aberturas, identificando que

o tempo de avaliação das amostras de estudo/análise é de aproximadamente 4 dias para seis desses instrumentos; 30 dias para um deles; 8 horas para outro; e somente cerca de 10 minutos para um dos equipamentos. Estes instrumentos estão localizados em seis países diferentes (EUA, Alemanha, Holanda, Dinamarca, Austrália e Suíça), ou seja, além do tempo de ensaio ser na sua maioria elevado, não está ao alcance de muitos pesquisadores.

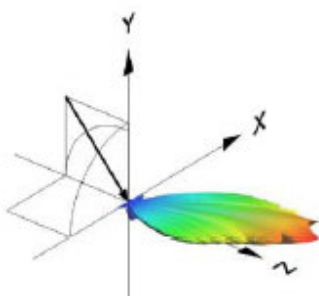
Tratando da caracterização do comportamento luminoso de diferentes materiais/elementos envidraçados e/ou de controle solar, De Boer (2006) e Andersen e De Boer (2006) apresentam a representação dos efeitos espaciais da luz transmitida segundo o coeficiente $q = L/E$ ($\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lux})$), com uso de um goniôfotômetro numérico, baseado na ferramenta Opticad, numa representação geométrica do ambiente de análise do tipo hemicubo. Nas Figuras 19 e 20, vê-se a representação do comportamento luminoso dos tipos de amostras analisadas.



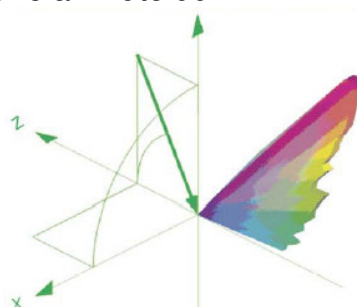
a. Acrílico difusor:
Altura 0° e azimute 0°



b. Lâminas direcionadoras de luz:
Altura 48° e azimute 90°



c. Vidro re-direcionador de luz:
Altura 24° e azimute 90°

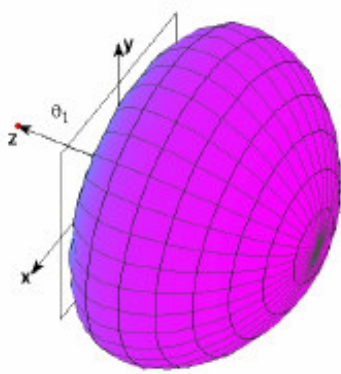


d. Lâminas horizontais tipo veneziana com
lado côncavo refletivo
Altura 60° e azimute 90°

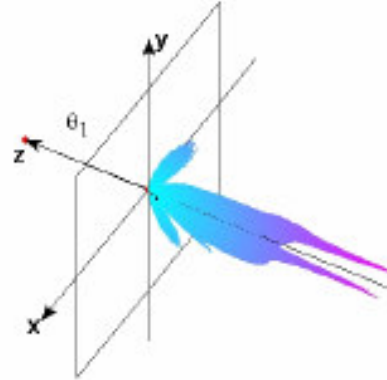
Figura 19 - Representação em perspectiva dos efeitos espaciais da luz admitida para quatro tipos de amostras: acrílico difusor, lâminas direcionadoras, vidro re-direcionador, lâminas horizontais

(Fonte: DE BOER, 2006 e ANDERSEN E DE BOER, 2006)

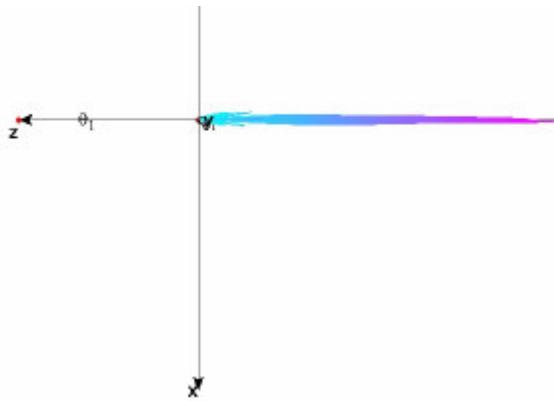
Também abordando a caracterização do comportamento luminoso de diferentes materiais/elementos envidraçados e/ou de controle solar, IEA (1999) apresenta a representação dos efeitos espaciais da luz segundo a transmitância bidirecional, com valores de acordo com o coeficiente $q = L/E \text{ cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lux})$ em escala de cores não incluída nas imagens seguintes (Figura 20).



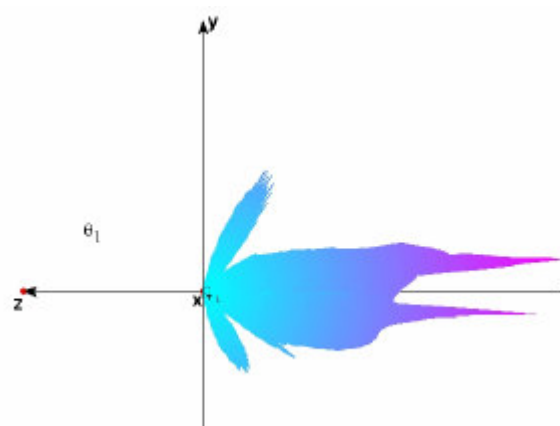
a. Difusor perfeito
(perspectiva)
Altura 0° e azimute 0°



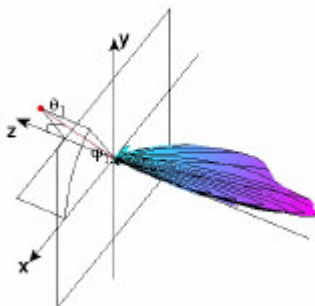
b1. Filme prismático (perspectiva):
Altura 0° e azimute 0°



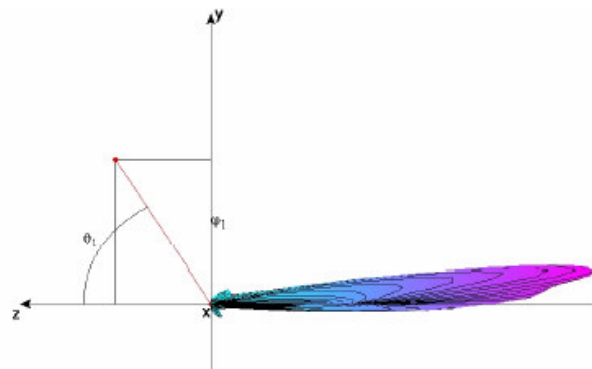
b2. Filme prismático (vista superior):
Altura 0° e azimute 0°



b3. Filme prismático (vista lateral):
Altura 0° e azimute 0°

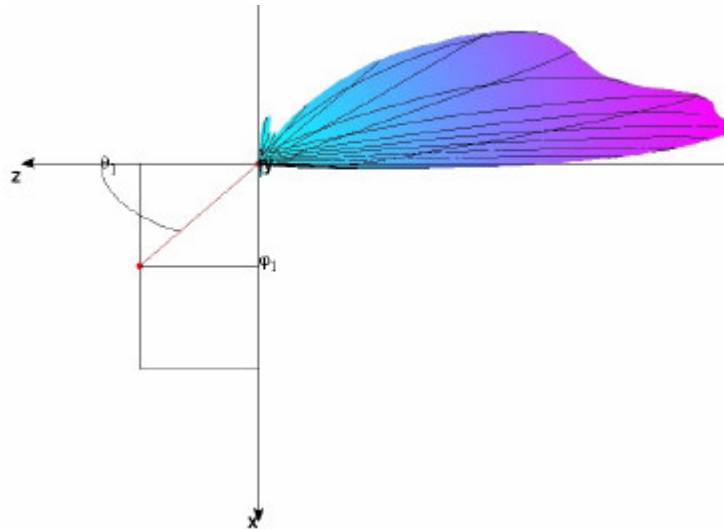


c1. Vidro direcionador solar – *Lumitop*
(perspectiva): Altura 60° e azimute 60°
Continua



c2. Vidro direcionador solar – *Lumitop* (vista lateral):
Altura 60° e azimute 60°

Continuação



c3.Vidro direcionador solar – *Lumitop* (vista superior): Altura 60° e azimute 60°

Figura 20 - Representação dos efeitos espaciais da luz admitida para dois tipos de amostras: filme prismático e vidro direcionador solar

(Fonte: IEA, 1999)

Em vantagem aos métodos de avaliação do comportamento luminoso de aberturas por meio do uso de procedimentos experimentais, Andersen e De Boer apresentam a definição de ambientes virtuais de avaliação da luz admitida, que possibilitam uma maior abrangência de estudo/análise sobre diferentes sistemas de controle solar em aberturas, tornando possível a produção de uma base de dados fotométricos para consulta cada vez maior, pela possibilidade de maior replicação desses métodos virtuais de avaliação da luz natural.

Esses autores apresentam inclusive a definição de um tipo geométrico ideal de estudo em ambiente virtual de simulação, modelado com um Sol virtual como fonte de luz e um detector hemisférico do fluxo luminoso, conforme a Figura 21.

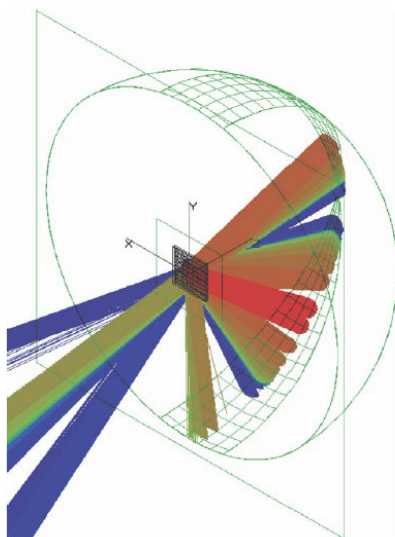


Figura 21 – Modelo de configuração ideal com Sol virtual e detector hemisférico da transmissão bidirecional da luz através de um sistema de aberturas
(Fonte: ANDERSEN E DE BOER, 2006)

Sobre a avaliação da luz admitida através de aberturas por meio da análise em ambientes virtuais, Andersen e De Boer (2006) afirmam que recentemente medições físicas têm sido complementadas por aproximações numéricas baseadas em cálculos de raio traçado para os modelos de estudo, requerendo uma adequada caracterização do sistema de aberturas em análise, de suas propriedades refletivas; sendo esses ambientes virtuais mais adequados para estudos iniciais de projetos e otimização de produtos, ou para testes de diferentes configurações de um sistema.

O método desenvolvido na tese é apresentado no capítulo 3, como uma contribuição para o estudo do comportamento luminoso de sistemas de aberturas, proporcionando a comparação de diferentes situações de janelas com elementos de controle solar quanto à admissão de luz natural e sua distribuição espacial interior.

O método foi desenvolvido num ambiente virtual, por meio de simulação computacional com uso de um Módulo Especial do Programa APOLUX, apresentando-se com uma alternativa a mais em relação a outros métodos/procedimentos existentes na literatura. Com o ambiente virtual definido, há facilidade de variações paramétricas para análise dos modelos de simulação, reduzindo o custo e o tempo dos ensaios, assim como possibilitando utilização por outros pesquisadores, ampliando ainda mais os estudos sobre a caracterização do comportamento luminoso de sistemas de aberturas.

3 MÉTODO

3.1 Apresentação

O trabalho apresenta um método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar, com base na definição de um ambiente virtual que represente o ambiente de incidência de luz natural e sua emissão para o interior, considerando uma fonte superficial de luz, a abertura.

Neste método, é possível a caracterização do comportamento luminoso da abertura, determinando a quantidade de luz transmitida e sua distribuição espacial para o ambiente interno a partir da identificação da transmitância bidirecional hemisférica e de acordo com a luminância equivalente da janela representativa da distribuição espacial da luz devido à fonte superficial janela até o ambiente interno.

Este método desenvolvido em ambiente virtual com a definição de uma hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz representa adequadamente o ambiente de análise da transmissão de luz para o ambiente interno. O método consiste numa versão virtual de um tipo de goniofotômetro, utilizado experimentalmente para avaliação da admissão de luz natural transmitida através das aberturas e sua distribuição espacial para o ambiente interno.

No ambiente virtual desenvolvido, o tempo e o custo das análises é reduzido, quando comparado com os métodos experimentais existentes, possibilitando um conjunto maior de análises paramétricas de diferentes tipos de aberturas com tipos de envidraçados diversos e obstáculos, como os elementos de controle solar.

A questão da admissão de luz natural através de aberturas foi estudada por meio de simulação computacional com uso do Programa APOLUX 1.0, apresentado em Claro, Pereira e Aguiar (2003), com base em um modelo de análise hemisfera oca com base vertical, com abertura sem controle solar como fonte de luz, comparativamente a situações de abertura com diversos elementos de controle solar.

Foram analisados diferentes sistemas de aberturas, inicialmente sem nenhum elemento de controle solar, e posteriormente, adicionando diversos tipos de elementos de controle solar, sendo identificado o fluxo luminoso admitido, assim

como luminância equivalente da janela que representa a direção da iluminação a partir do centro da abertura.

A análise foi realizada para quatro tipos de geometria de elementos de controle solar sobre a abertura (1 placa horizontal; 10 placas horizontais; 5 placas verticais; 10 placas verticais), para a situação de refletância dos elementos de controle solar de 75% e de 20%, com espessura de parede e do peitoril de 0,15m, nas situações de incidência solar de azimute 0, 60 e -60 graus, e de altura solar de 30 e 60 graus.

Para o trabalho com o Programa APOLUX 1.0, foi preparado pelo autor do programa um Módulo Especial em função dos resultados pretendidos e do modelo de simulação proposto (hemisfera com base vertical e abertura), possibilitando aplicabilidade ao estudo pretendido.

Além disso, a utilização do programa foi definida pela sua disponibilidade para utilização e assessoria no Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Colaboraram ainda para a utilização do programa APOLUX, a disponibilidade para uso pessoal, o domínio em função do constante aprimoramento no uso, e atualidade dele, dentre outros programas de simulação de luz natural existentes, como ADELIN, SUPERLITE, LUMEN-MICRO, RADIANCE, LIGHTSCAPE e TROPLUX.

3.2 Ambiente Virtual Proposto

Objetivando avaliar a admissão de luz natural e sua distribuição no ambiente interno, foi definida uma representação geométrica do espaço interior que possibilitasse resultados confiáveis.

Para isso foi definida uma hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz, como melhor representação geométrica do ambiente interno quando comparada a outras formas (cubo, tipo cubo com seis faces) quanto à avaliação das iluminâncias internas e luminância da janela, pois nesta geometria existe uma distância igual entre o ambiente (a superfície interna da hemisfera) e a fonte de luz (a janela).

Na Figura 22 é apresentada esta hemisfera oca representativa geometricamente do ambiente interno e outras possíveis representações geométricas de estudo.

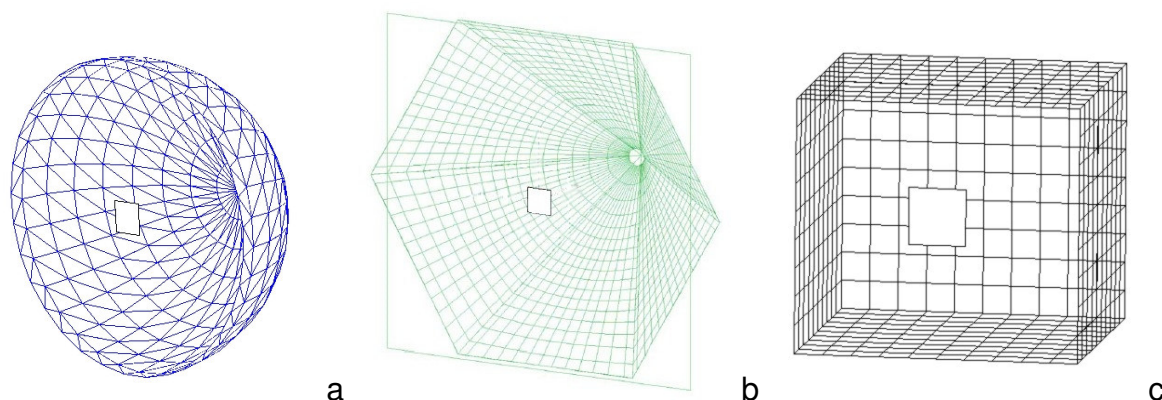


Figura 22 - Hemisfera oca; tipo cubo com seis lados; cubo simples

Conforme citado na revisão bibliográfica, Anderson e De Boer (2006) informam que a representação geométrica ideal do espaço para o estudo da transmitância bidirecional da luz é a de uma hemisfera oca com abertura como fonte de luz, como definido no método desenvolvido nesta tese.

Essa hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz possibilita identificar a quantidade de luz admitida através da abertura em função da adoção de diferentes tipos de elementos de controle solar na janela, comparados a uma situação de referência (abertura livre). Para a identificação da distribuição espacial da luz admitida, foi realizada a detecção da iluminância existente em diversos pontos da superfície interna da hemisfera.

Essa hemisfera oca definida caracteriza-se como um goniofotômetro virtual, similar à identificada na literatura.

O método da hemisfera oca virtual desenvolvido na tese adotou o conceito de luminância equivalente da janela (a janela definida como uma fonte superficial de luz) a partir da detecção da luz admitida (iluminância) em milhares de pontos do interior da hemisfera.

Foram realizadas diversas análises paramétricas com base em modelos virtuais de análise, numa situação demorada e de custo elevado de se realizar num equipamento mecânico (como os radiômetros ou goniofotômetros citados), ou de difícil “varredura” hemisférica no caso de um radiômetro escaneador digital

analisador de modelos em escala reduzida.

O método aqui apresentado é uma contribuição para o estudo do comportamento luminoso de sistemas de aberturas, proporcionando a comparação de diferentes situações de janelas com elementos de controle solar quanto à admissão de luz natural e sua distribuição para o interior.

O método foi desenvolvido em ambiente virtual, com uso de simulação computacional por meio de um Módulo Especial do Programa APOLUX, apresentando-se com uma alternativa a mais em relação a outros métodos/procedimentos apresentados na literatura, com a facilidade de variações paramétricas para análise devido à sua característica virtual, assim como dos modelos de simulação.

Para análise do fluxo luminoso decorrente da admissão e posterior distribuição de luz natural através de aberturas com diferentes configurações de elementos de controle solar, estabeleceu-se um modelo de simulação que consiste numa hemisfera oca (diâmetro de 20 m), com uma base vertical onde se localiza uma abertura de 2 x 2 m, representando a fonte de luz natural. O diâmetro de 20 m foi definido com base em recomendações fotométricas, que define como necessário para estudos em iluminação uma dimensão 5 vezes a maior dimensão da fonte de luz, no caso a abertura com 2 m.

Por meio do programa computacional APOLUX 1.0, foi avaliado o fluxo luminoso (a partir dos valores de iluminância identificados num conjunto de 121 pontos do lado externo do vidro) que atravessa a abertura, primeiramente sem nenhum tipo de elemento de controle solar e, em seguida, com diferentes sistemas de controle solar adicionados à abertura, e vidro com transmitância à radiação solar de 85%, identificando então a variação existente na admissão do fluxo luminoso. Este conjunto de pontos foram definidos em função da especificação de uma divisão do plano externo do vidro por 10 (que resultam em 11 x 11 divisões do plano da abertura), possibilitando o fracionamento deste plano num número maior de partes. Esta divisão é necessária para identificar as variações de incidência de luz em diferentes partes do plano externo do vidro, quando da adoção de diferentes tipos de elementos de controle solar na janela, que bloqueiam mais ou menos a luz natural incidente.

Os 121 pontos definidos no plano do externo vidro, representam a divisão desse plano com $2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$ em 121 parcelas, cada uma com área de 0,0330578

m². Calculou-se então o fluxo luminoso admitido através do vidro externo segundo cada uma dessas parcelas, multiplicada pela iluminância existente nos 121 pontos, totalizando o fluxo luminoso total admitido.

Posteriormente, em função dos diferentes valores de iluminância medidos internamente à hemisfera, segundo posição em função de direções a partir do centro da abertura, foi identificada a luminância equivalente da abertura como fonte de luz natural, com base na distância entre o ponto de medição de iluminância no interior da hemisfera (raio) até a abertura, assim como a área aparente de iluminação em função do ângulo sólido. Esse procedimento foi especialmente implementado no Programa APOLUX visando à agilidade nesse processo, em função de um grande número de pontos de iluminância medidos no interior da hemisfera (~ 4500 pontos). Com isto, obtém-se maior e mais precisa abrangência dos valores de iluminância na superfície interna da mesma, utilizados para o cálculo da luminância equivalente da abertura. No modelo em *CAD*, junto à hemisfera com base vertical e abertura (janela), foram adicionados diferentes elementos de controle solar, comparando as situações internas em termos de admissão de luz natural (fluxo luminoso total que atravessou a abertura) e distribuição interna (luminância equivalente da abertura).

I) Cálculo do Fluxo Luminoso:

Para a identificação quantitativa da luz natural que atravessa a janela no modelo hemisfera oca com abertura, a partir de um relatório numérico de iluminâncias no plano externo do vidro gerado no Programa APOLUX.

Como a iluminância (E) é igual ao fluxo luminoso (Φ) dividido pela área (A), com os valores de iluminância identificado no plano da janela (num conjunto de pontos mapeadores de toda área da abertura), calcula-se o fluxo luminoso (Φ) em cada ponto de medição de iluminância, conforme a equação 1 adiante:

$$\Phi = E \cdot A \quad [1]$$

Logo, em função da área de contribuição de cada ponto da janela (área total da janela dividida pelo número de pontos mapeadores = 121), identifica-se o fluxo luminoso de cada parcela (ponto). O fluxo luminoso total admitido através da abertura é igual ao somatório dos fluxos luminosos parciais antes identificados.

II) Cálculo da Luminância Equivalente:

A identificação quantitativa da luminância gerada na janela segundo cada ponto de iluminância identificado no interior da hemisfera, é realizada a partir de um relatório numérico gerado no Programa APOLUX.

A partir desses dados numéricos de luminância gerada na janela (no ponto central da abertura), são geradas no Módulo Especial do Programa APOLUX imagens do tipo *dxif*, identificando a direção de diferentes vetores luz, desde o centro da abertura para o interior da hemisfera, representativas da distribuição espacial da luz natural admitida.

A luminância equivalente da janela (*L equiv*) para cada valor de iluminância (*E*) identificado no interior da hemisfera segundo direções a partir do centro da abertura foi obtida conforme a equação 2 adiante:

$$L \text{ equiv} = \frac{E \cdot r^2}{A \cdot \cos \theta} \quad [2]$$

(Fonte: PAPAMICHAEL, K., KLEMS, J., SELKOWITZ, S., 1988)

onde: *A* = área da abertura;

r = distância entre o ponto central da abertura e o de identificação da iluminância na superfície interior da hemisfera.

A Figura 23 representa graficamente este conceito de luminância equivalente:

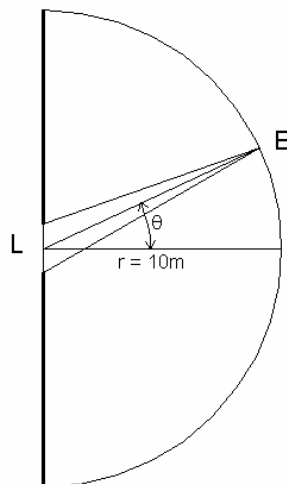


Figura 23 - Representação gráfica da luminância equivalente da janela

3.2.1 Programa de Simulação APOLUX 1.0

O Programa APOLUX 1.0, apresentado em Claro, Pereira e Aguiar (2003), desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em convênio com as Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), realiza análises de iluminação natural, com a avaliação da iluminância, luminância, fator de luz diurna (*daylight factor*) em planos verticais ou horizontais, internos ou externos, baseando-se em dados externos da disponibilidade de luz natural.

Este programa computacional de simulação da luz natural considera as superfícies como elementos opacos perfeitamente difusores (com propriedades de refletância) ou transmissores especulares (com transmitância variada), possibilitando a especificação de diversos materiais.

O Programa APOLUX 1.0 trabalha com a Teoria da Radiosidade, simulando o comportamento ótico de materiais e a luz natural recebida, permitindo análise de iluminação natural em ambientes internos e externos, com base na geração de um arquivo em *CAD*.

O Programa APOLUX 1.0 trabalha com dois módulos distintos para realização das simulações de luz natural: o Fractal e o LuzSolar.

A seguir são apresentadas as características do programa de simulação a ser utilizado nas simulações:

Módulo Fractal: Este módulo permite realizar um conjunto de operações de preparação para que um modelo de espaço tridimensional desenvolvido em CAD no formato *Data Exchange File (DXF)* possa ser processado pelo módulo principal LuzSolar do programa.

Ainda no Módulo Fractal, é definido o espaço tridimensional, composto por superfícies planas que apresentem, além dos dados geométricos, propriedades físicas luminosas.

Definido o espaço geométrico (o modelo), executa-se o fracionamento. Este consiste na divisão de diferentes superfícies do modelo em parcelas de área, de forma a permitir a aplicação dos conceitos matemáticos utilizados no processamento do método da Radiosidade para a obtenção de uma solução de iluminação natural determinada.

A definição do projeto (a situação de análise) consiste em diversas ações — como corrigir orientação de superfícies, editar propriedades dos materiais, definir parâmetros de fracionamento, entre outros detalhes visando finalizar o projeto, a ser analisado no Módulo LuzSolar.

Módulo LuzSolar: Este módulo permite calcular, para um determinado projeto de espaço, a iluminação proveniente da luz natural da abóbada celeste, tanto devido à incidência direta de luz solar quanto da contribuição proveniente da abóbada celeste, segundo uma formulação matemática teórica baseada no "método da radiosidade".

O procedimento geral de cálculo envolve um projeto, expresso na forma de dados cartesianos e parâmetros físicos, um globo de referência espacial astronômica e uma abóbada celeste calculada.

Neste módulo é realizado o cálculo dos fatores de forma entre as diferentes superfícies do projeto, correspondendo ao ângulo sólido espacial que relaciona um determinado ponto de uma superfície que recebe luz com uma determinada superfície em uma dada direção e posição do espaço, podendo ser entendido como a forma que um ponto receptor "vê" as diferentes superfícies emissoras de luz no hemisfério definido pelo plano no qual se encontra a superfície receptora que o contém.

Posteriormente, o módulo realiza o cálculo de sucessivas soluções de radiosidade, determinando a iluminância inicial provida pela abóbada celeste e pelo Sol nos diferentes triângulos dos planos do projeto, calculando a energia radiante trocada entre estas superfícies por meio dos fatores de forma calculados e, por último, calculando para os pontos de amostra a incidência de luz da abóbada celeste e do Sol e a contribuição das diferentes superfícies do projeto a cada ponto específico. A partir de cada solução, o programa pode interpolar os valores obtidos nos pontos da amostra para outros pontos das superfícies. Agora, pode-se observar o resultado de iluminação natural tanto em imagens tridimensionais quanto em gráficos analíticos tridimensionais, assim como em relatório numérico.

3.3 Testes de Confiabilidade do Contexto de Estudo quanto à Identificação da Distribuição Espacial da Luz Natural Admitida

Para o trabalho de simulação realizado com o Programa APOLUX 1.0 na parte de avaliação da distribuição da luz com identificação da luminância equivalente da janela, além das referências identificadas para adoção do programa e sua disponibilidade, foram realizados testes de confiabilidade visando identificar se os resultados gerados estão adequados.

Esses testes foram realizados a partir da simulação de situações-chave, que permitem estimar se o comportamento apresentado na distribuição da luz a partir do ponto central da abertura para o interior da hemisfera está de acordo com o esperado, conforme o tipo de fonte de luz (somente Sol; somente céu). Estes testes foram realizados em diferentes direções de incidência solar (azimutes e alturas), nas situações sem elementos de controle solar, com elementos de controle solar, com variação de refletância deles e variação da espessura de parede e de peitoril.

A partir do conhecimento da geometria solar, em função dos ângulos de azimute e de altura solar, pode-se estimar se a representação da distribuição das fontes de luz para o interior da hemisfera (segundo a luminância equivalente da janela) está adequada.

Assim, com azimute 0 e altura 60 graus, somente Sol, sem elementos de controle solar, sem parede e peitoril, a direção da fonte de luz deve apresentar-se perpendicular à abertura, na inclinação dos 60 graus e com altos valores de luminância equivalente da janela, representativos da luz solar direta bem definida direcionalmente que está sendo admitida para o interior da hemisfera.

Já com azimute 60 e altura 60 graus, somente Sol, sem elementos de controle solar, sem parede e peitoril, a direção da fonte de luz deve apresentar-se obliquamente à abertura, na inclinação dos 60 graus e com altos valores de luminância equivalente da janela, representativos da luz solar direta oblíqua bem definida direcionalmente que está sendo admitida para o interior da hemisfera.

Nas duas situações anteriores, mas com elementos de controle solar e espessura de parede e peitoril, além dos efeitos anteriormente identificados, deve aparecer o efeito da reflexão da luz.

Dessa forma, a seguir são apresentadas nas figuras 24 a 32 diversas situações-teste quanto à distribuição espacial da luz, com o objetivo de identificar a confiabilidade do programa utilizado na tese quanto à representação da incidência da luz solar, seja ela direta nas condições de somente Sol, nas condições de céu claro, de céu encoberto, sem e com elementos de controle solar, sem e com espessura de peitoril e parede.

Situações-Teste:

A. Sem elementos de controle solar, somente Sol, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60°.

B. Sem elementos de controle solar, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m, refletância da parede e peitoril de 100%, azimuth 0° e altura solar 60°.

C. Sem elementos de controle solar, somente Sol, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 60° e altura solar 60°.

D. Sem elementos de controle solar, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m na refletância de 100%, azimuth 60° e altura solar 60°.

E. Sem elementos de controle solar, céu claro, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60°.

F. Sem elementos de controle solar, céu claro, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 60° e altura solar 60°.

G. Sem elementos de controle solar, céu encoberto, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60°.

H. Sem elementos de controle solar, céu encoberto, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 60° e altura solar 60°.

I. Com elementos de controle solar, 10 placas horizontais protegendo a abertura, somente Sol, sem peitoril e espessura de parede, 0% de refletância dos ECS, azimuth 0° e altura solar 60°.

J. Com elementos de controle solar, 10 placas horizontais protegendo a abertura, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m, 0% de refletância dos ECS, azimuth 0° e altura solar 60°.

L. Com elementos de controle solar, 10 placas horizontais sombreando a abertura, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m, 100% de refletância dos ECS, peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60°.

A. Sem elementos de controle solar, somente Sol, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60° :

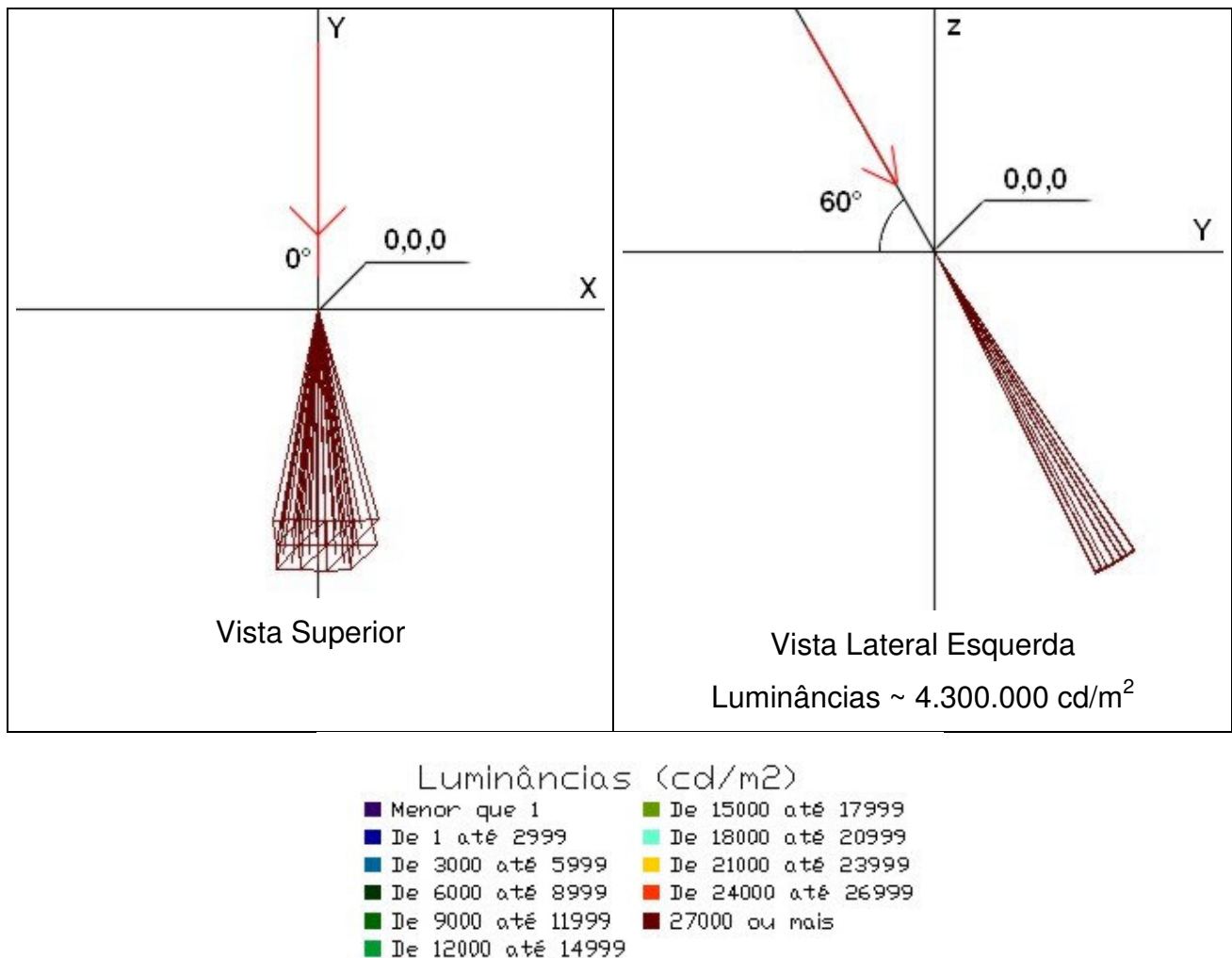


Figura 24 – Distribuição espacial da luz para a situação A

Análise da Situação A:

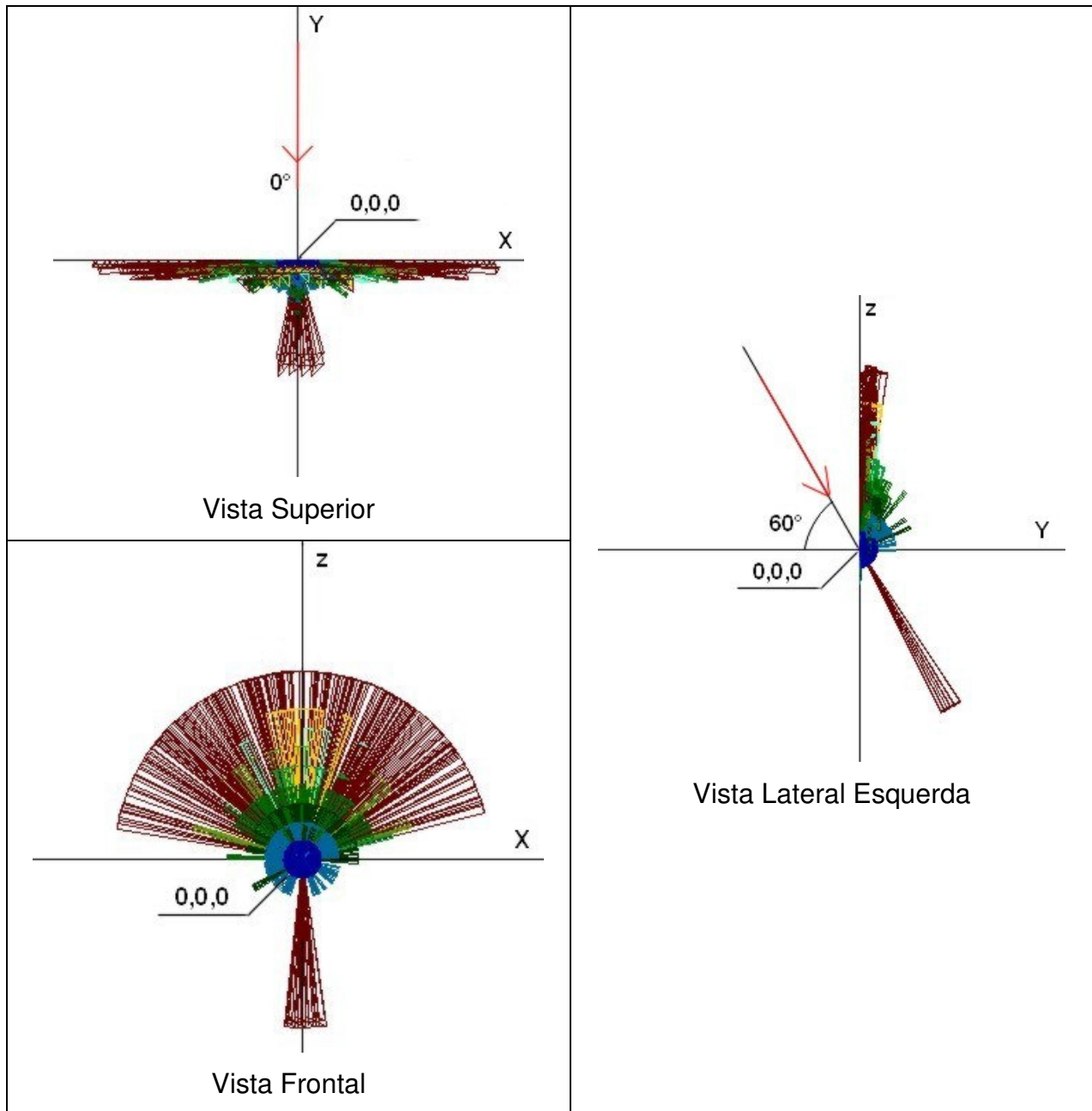
Observa-se, na vista superior, que a incidência solar com azimuth zero está correta, com representação simétrica no eixo Y para os dois lados.

Na vista lateral esquerda, observa-se a inclinação dos raios solares diretos em função da altura 60 graus adotados neste teste.

Identificam-se altos valores de luminância equivalente da janela ($1.000.000 \text{ cd/m}^2$ ou mais), representativos da luz solar direta que atinge o interior da hemisfera e caracterizadores da luminância avaliada.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente Sol).

B. Sem elementos de controle solar, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m, refletância da parede e peitoril de 100%, azimuth 0° e altura solar 60° :



Luminâncias (cd/m^2)

■ Menor que 1	■ De 15000 até 17999
■ De 1 até 2999	■ De 18000 até 20999
■ De 3000 até 5999	■ De 21000 até 23999
■ De 6000 até 8999	■ De 24000 até 26999
■ De 9000 até 11999	■ 27000 ou mais
■ De 12000 até 14999	

Figura 25 - Distribuição espacial da luz para a situação B

Análise da Situação B:

Percebe-se na vista superior, a influência da luz refletida na parede e peitoril (em azul, azul-claro, verde-claro e verde), assim como a incidência solar direta no azimute zero, no eixo Y.

Na vista lateral esquerda, observa-se a inclinação dos raios solares diretos (altos valores de luminância equivalente da janela) em função da altura 60 graus adotados neste teste, assim como a luz refletida (em azul, azul-claro, verde-claro e verde), devido à existência de peitoril com 0,15m. Identificam-se também altos valores de luminância equivalente da janela (27.000 cd/m^2 ou mais), representativos do efeito cosseno da luz solar direta que atinge o interior da hemisfera nesses ângulos próximos de 90 graus desde o centro da janela, por causa da reflexão da luz no peitoril.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente Sol).

C. Sem elementos de controle solar, somente Sol, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 60° e altura solar 60°:

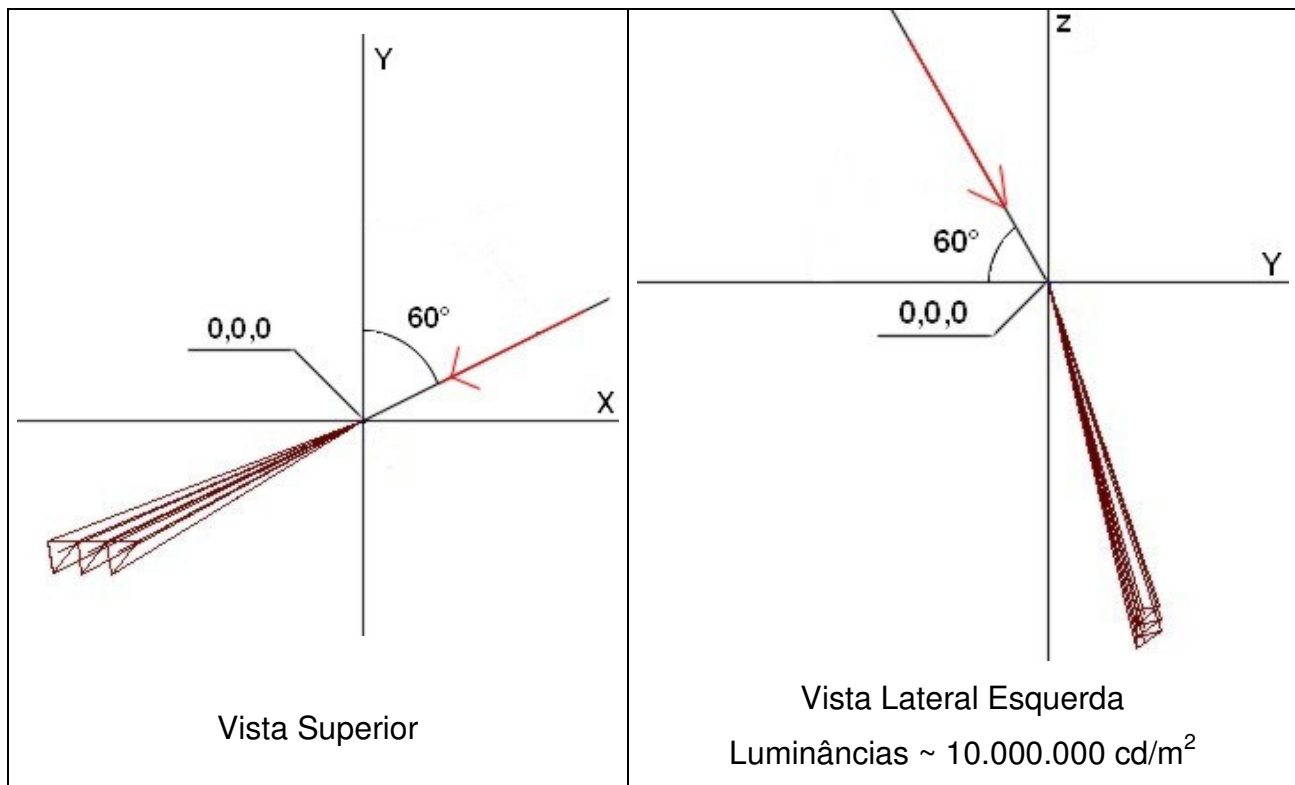


Figura 26 - Distribuição espacial da luz para a situação C

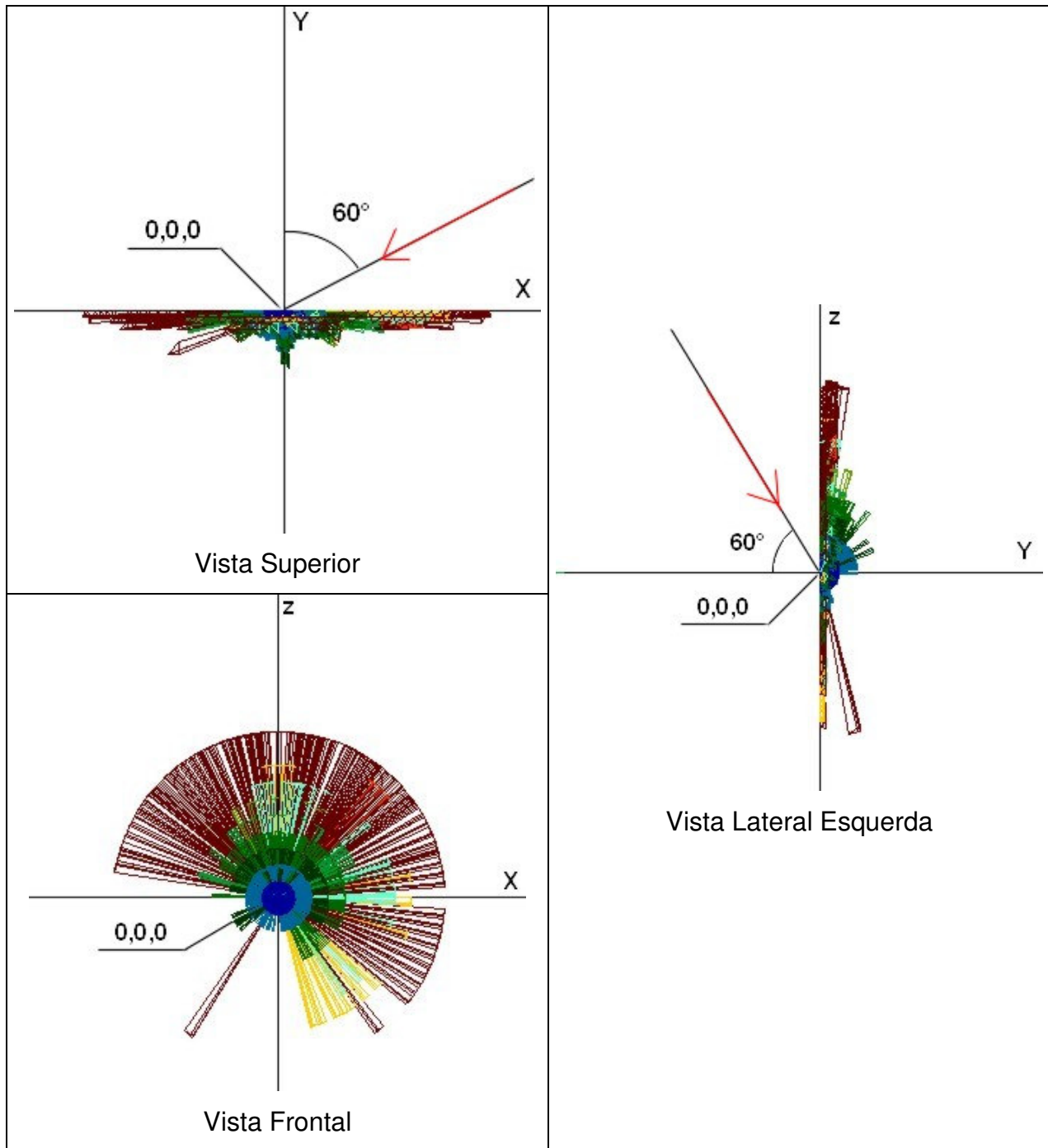
Análise da Situação C:

Observa-se, na vista superior, que a incidência solar com azimuth 60 graus está correta, numa direção oblíqua à abertura, identificando o efeito lateralidade da luz solar direta nesta situação.

Na vista lateral esquerda, percebe-se a inclinação dos raios solares em função da altura 60 graus adotada neste teste.

Identificam-se altos valores de luminância equivalente da janela (acima de 4.500.000 cd/m²) representativos da luz solar direta que atinge o interior da hemisfera. Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente Sol).

D. Sem elementos de controle solar, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m na refletância de 100%, azimuth 60° e altura solar 60°:



Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 15000 até 17999
■ De 1 até 2999	■ De 18000 até 20999
■ De 3000 até 5999	■ De 21000 até 23999
■ De 6000 até 8999	■ De 24000 até 26999
■ De 9000 até 11999	■ 27000 ou mais
■ De 12000 até 14999	

Figura 27 - Distribuição espacial da luz para a situação D

Análise da Situação D:

Observa-se, na vista superior, a influência da luz refletida na parede e peitoril (em azul, verde-claro e verde), com valores de luminância reduzidos em comparação aos da luz solar direta identificada obliquamente à abertura (azimute 60 graus), na faixa acima de 27.000 cd/m^2 .

Na vista lateral esquerda, aparece a representação da luminância equivalente da janela, com a luz refletida em valores menores do que a luz direta. A incidência solar direta à abertura devido à altura solar de 60 graus está representada, com altos valores de luminância (27.000 cd/m^2 ou mais). O efeito cosseno foi identificado em virtude dos altos valores de luminância tanto para o hemisfério superior e inferior, como para os lados direito e esquerdo da janela, nas situações próximas de 90 graus desde o centro dela.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente Sol).

E. Sem elementos de controle solar, céu claro, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60° :

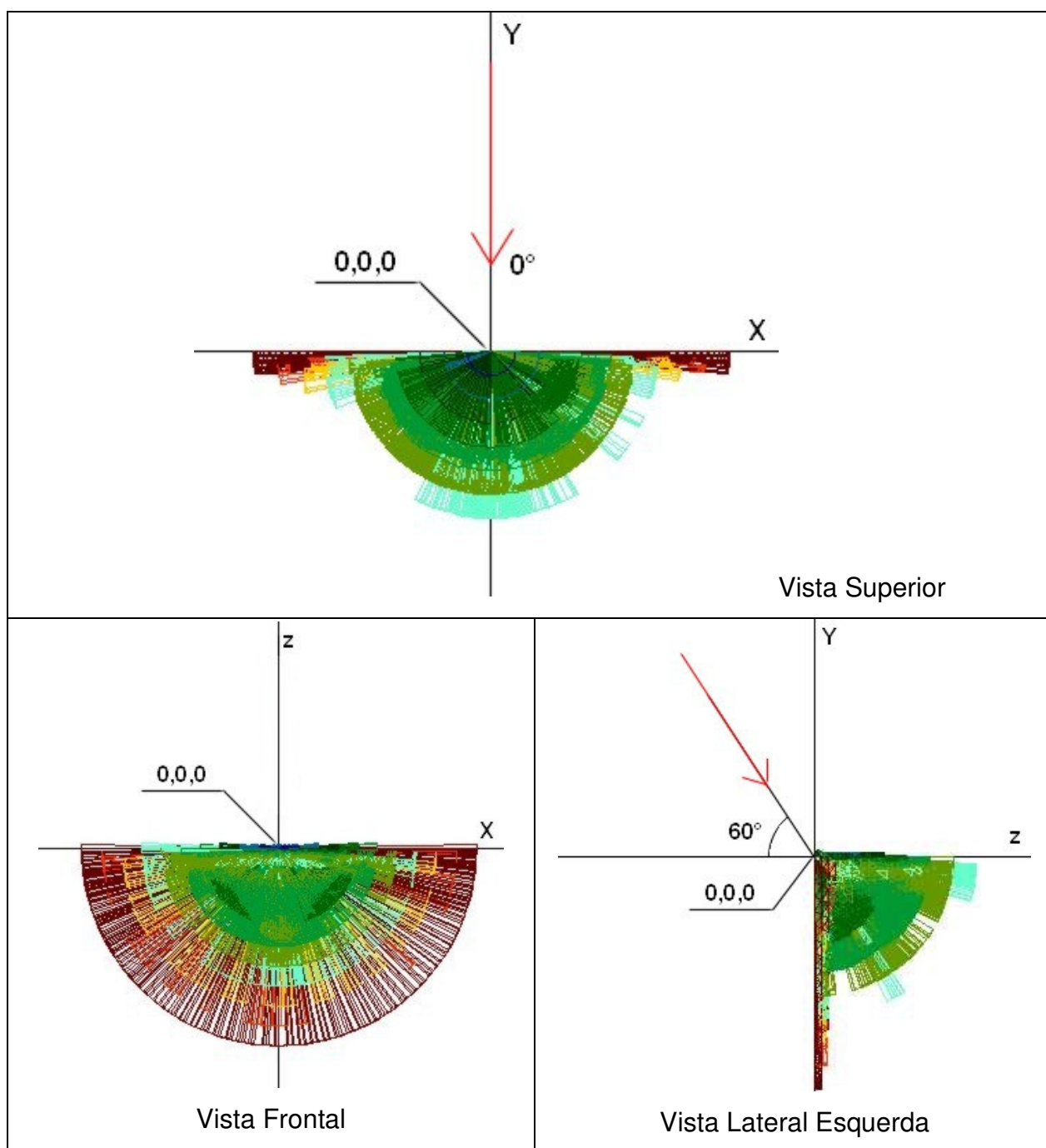




Figura 28 - Distribuição espacial da luz para a situação E

Análise da Situação E:

Observa-se para céu claro que a distribuição da luz está identificada com valores dominantes de luminância equivalente da janela desde 2.000 a 3.499 cd/m² (nas cores verde, verde-claro e azul) devido ao azimuth zero. Altos valores de luminância devido ao efeito cosseno também foram identificados (acima de 3.500 cd/m²) na direção do hemisfério inferior e para os lados direito e esquerdo da janela, nas situações próximas de 90 graus desde o centro dela.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente céu claro).

F. Sem elementos de controle solar, céu claro, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 60° e altura solar 60° :

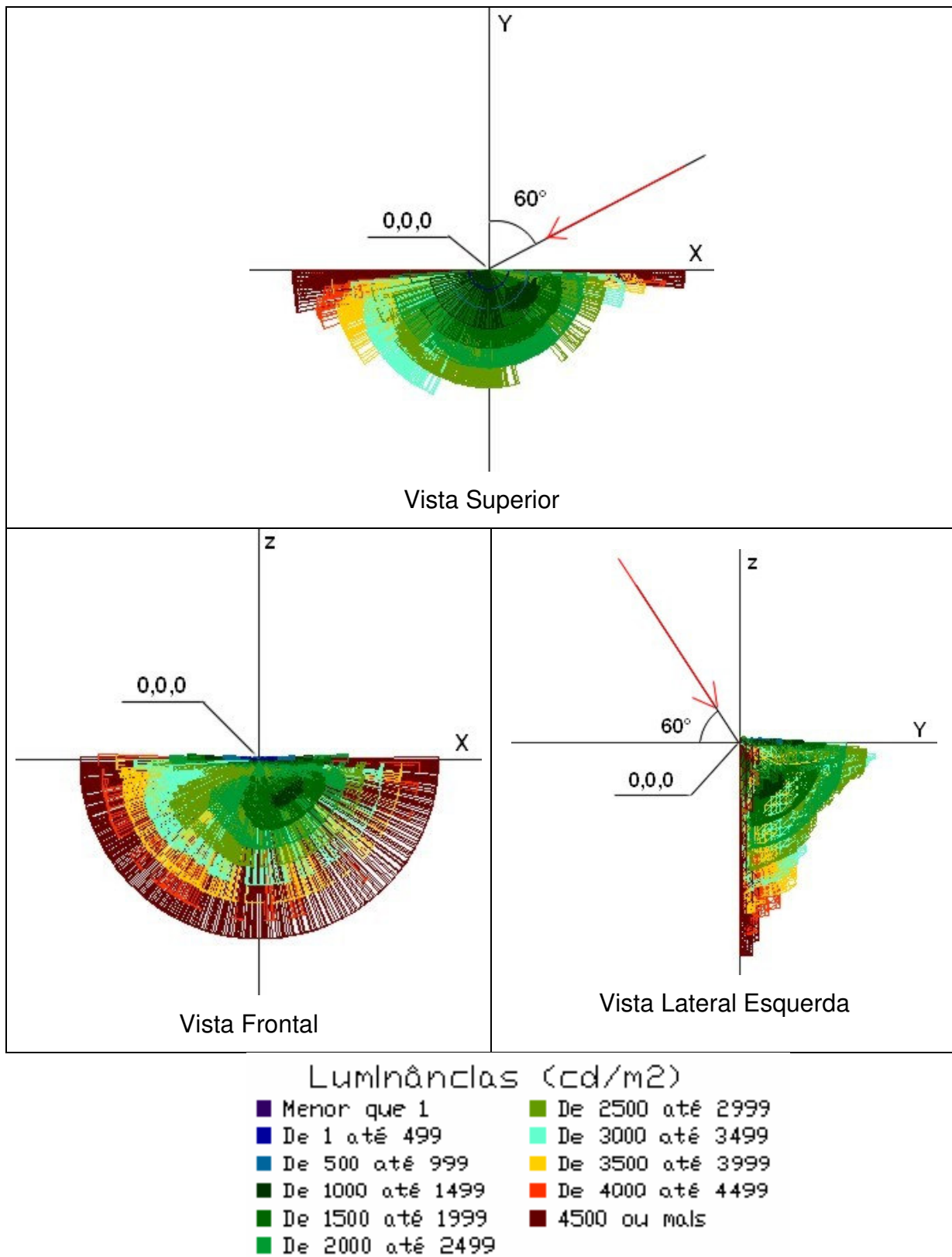


Figura 29 - Distribuição espacial da luz para a situação F

Análise da Situação F:

Observa-se para céu claro que a distribuição da luz está identificada com o efeito da lateralidade da luz devido ao azimute 60 graus, com valores dominantes desde 1.000 cd/m². Altos valores de luminância devido ao efeito cosseno também foram identificados (acima de 4.500 cd/m²) na direção do hemisfério inferior e para os lados direito e esquerdo da janela, nas situações próximas de 90 graus desde o centro dela.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente céu claro).

G. Sem elementos de controle solar, céu encoberto, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60° :

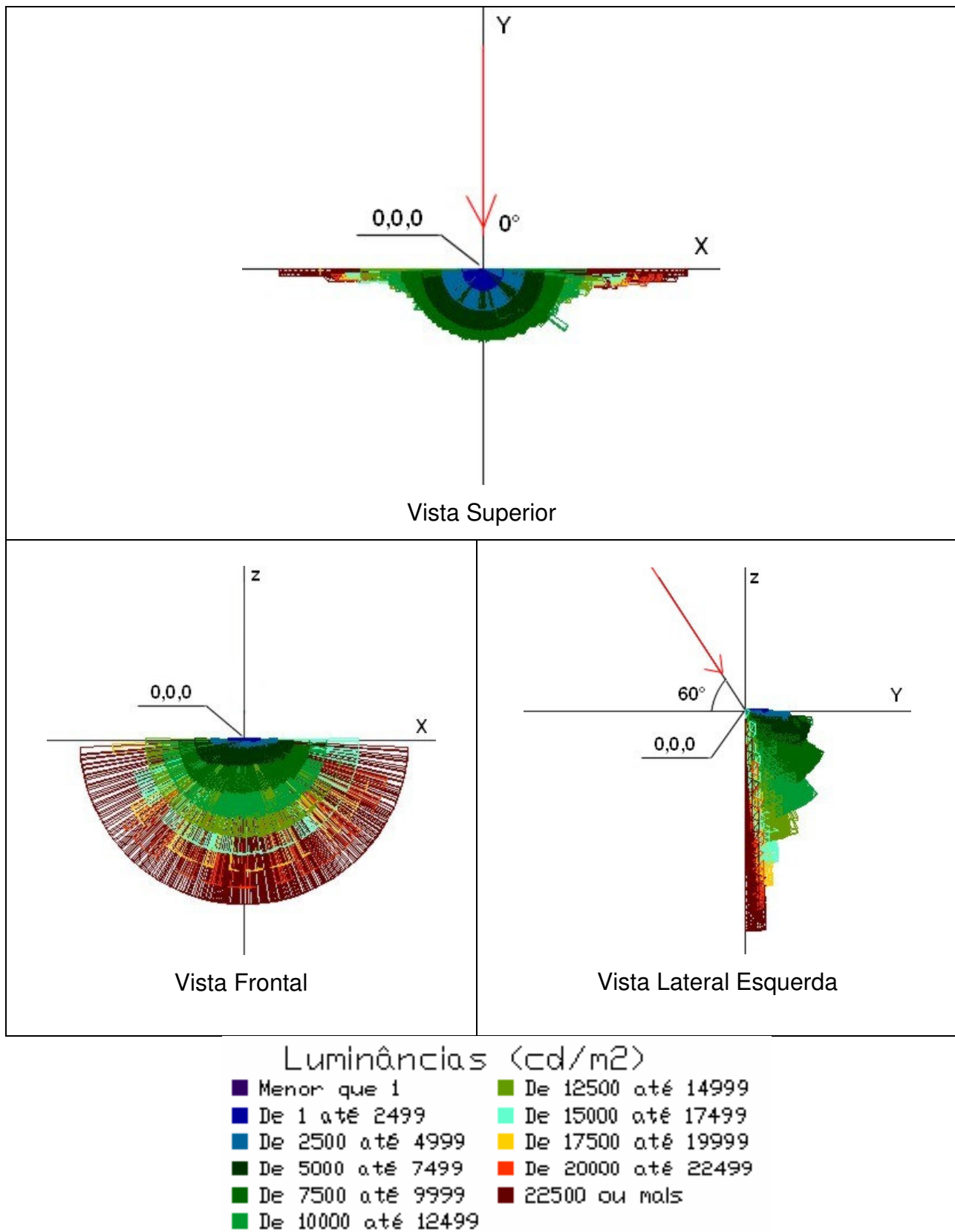


Figura 30 - Distribuição espacial da luz para a situação G

Análise da Situação G:

Observa-se, na vista superior, para céu encoberto que a distribuição da luz está identificada com valores dominantes desde 5.000 cd/m² para o azimute 0 grau.

Na vista lateral esquerda, o efeito da altura 60 graus da incidência da luz do céu encoberto está representado, com valores dominantes na faixa de 12.500 a 19.999 cd/m² (cores verde-claro, azul-claro e amarelo). Altos valores de luminância devido ao efeito cosseno também foram identificados (acima de 20.000 cd/m²) na direção do hemisfério inferior e para os lados direito e esquerdo da janela, nas situações próximas de 90 graus desde o centro dela.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente céu encoberto).

H. Sem elementos de controle solar, céu encoberto, sem peitoril e espessura de parede, azimuth 60° e altura solar 60° :

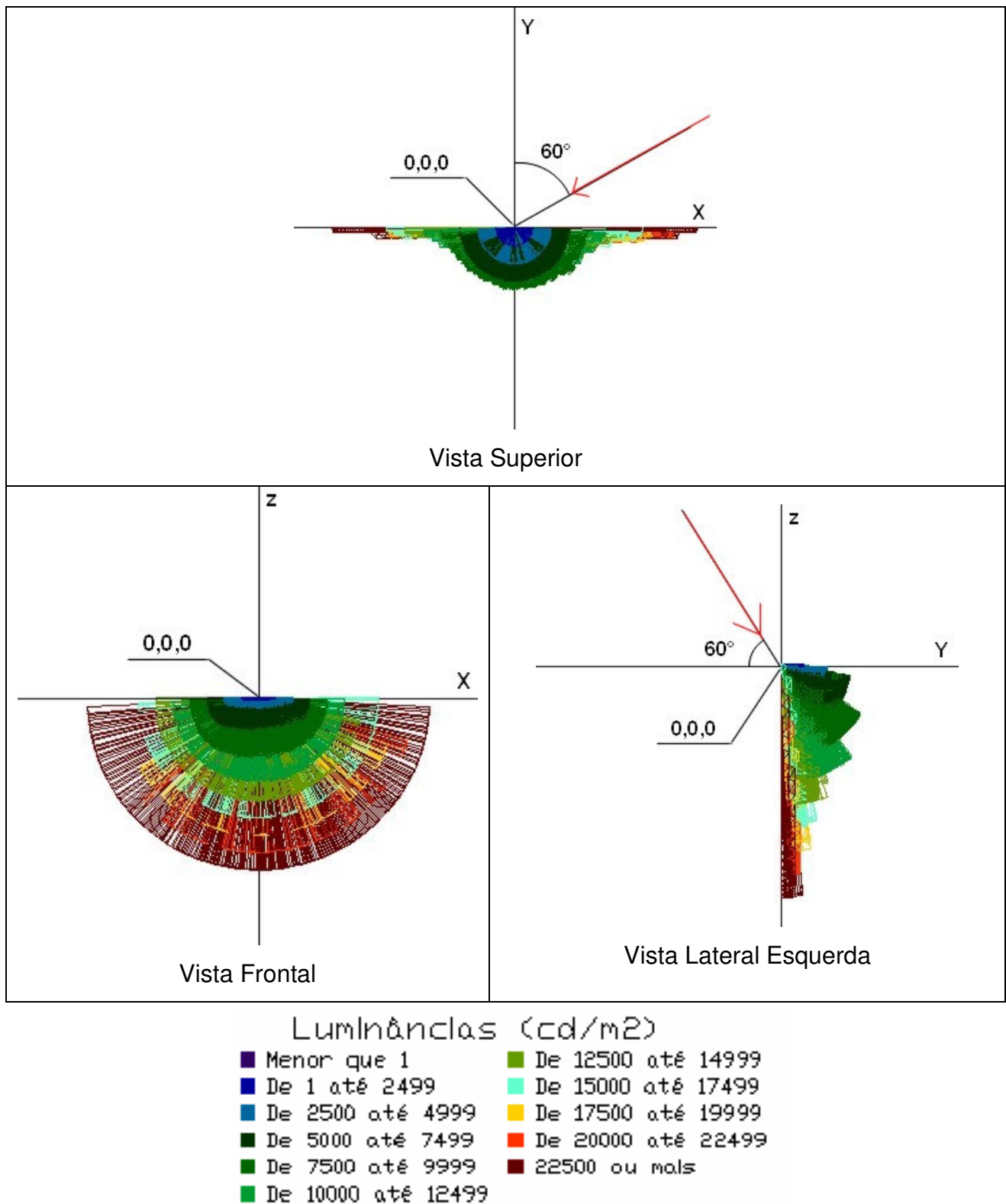


Figura 31 - Distribuição espacial da luz para a situação H

Análise da Situação H:

Observa-se, na vista superior, para céu encoberto que a distribuição da luz está identificada com valores dominantes desde 2.500 cd/m^2 para o azimute 0 grau.

Na vista lateral esquerda, o efeito da altura 60 graus da incidência da luz do céu encoberto está representado, com valores dominantes na faixa de 12.500 a 19.999 cd/m^2 (cores verde-claro, azul-claro e amarelo). Altos valores de luminância devido ao efeito cosseno também foram identificados (acima de 20.000 cd/m^2) na direção do hemisfério inferior e para os lados direito e esquerdo da janela, nas situações próximas de 90 graus desde o centro da mesma.

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente céu encoberto).

I. Com elementos de controle solar, 10 placas horizontais protegendo a abertura, somente Sol, sem peitoril e espessura de parede, 0% de refletância dos ECS, azimute 0° e altura solar 60°:

Nesta situação, com total sombreamento da luz solar direta na abertura, devido a não existência de reflexão da luz nas placas horizontais, não há admissão de luz, sendo a luminância equivalente da janela igual a zero.

J. Com elementos de controle solar, 10 placas horizontais protegendo a abertura, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m, 0% de refletância dos ECS, azimute 0° e altura solar 60°:

Nesta situação, com total sombreamento da luz solar direta na abertura, devido a não existência de reflexão da luz nas placas horizontais, na parede e no peitoril, não há admissão de luz. Assim, os valores de luminância equivalente da janela são todos iguais a zero.

L. Com elementos de controle solar, 10 placas horizontais sombreando a abertura, somente Sol, com peitoril e espessura de parede de 0,15m, 100% de refletância dos ECS, peitoril e espessura de parede, azimuth 0° e altura solar 60°:

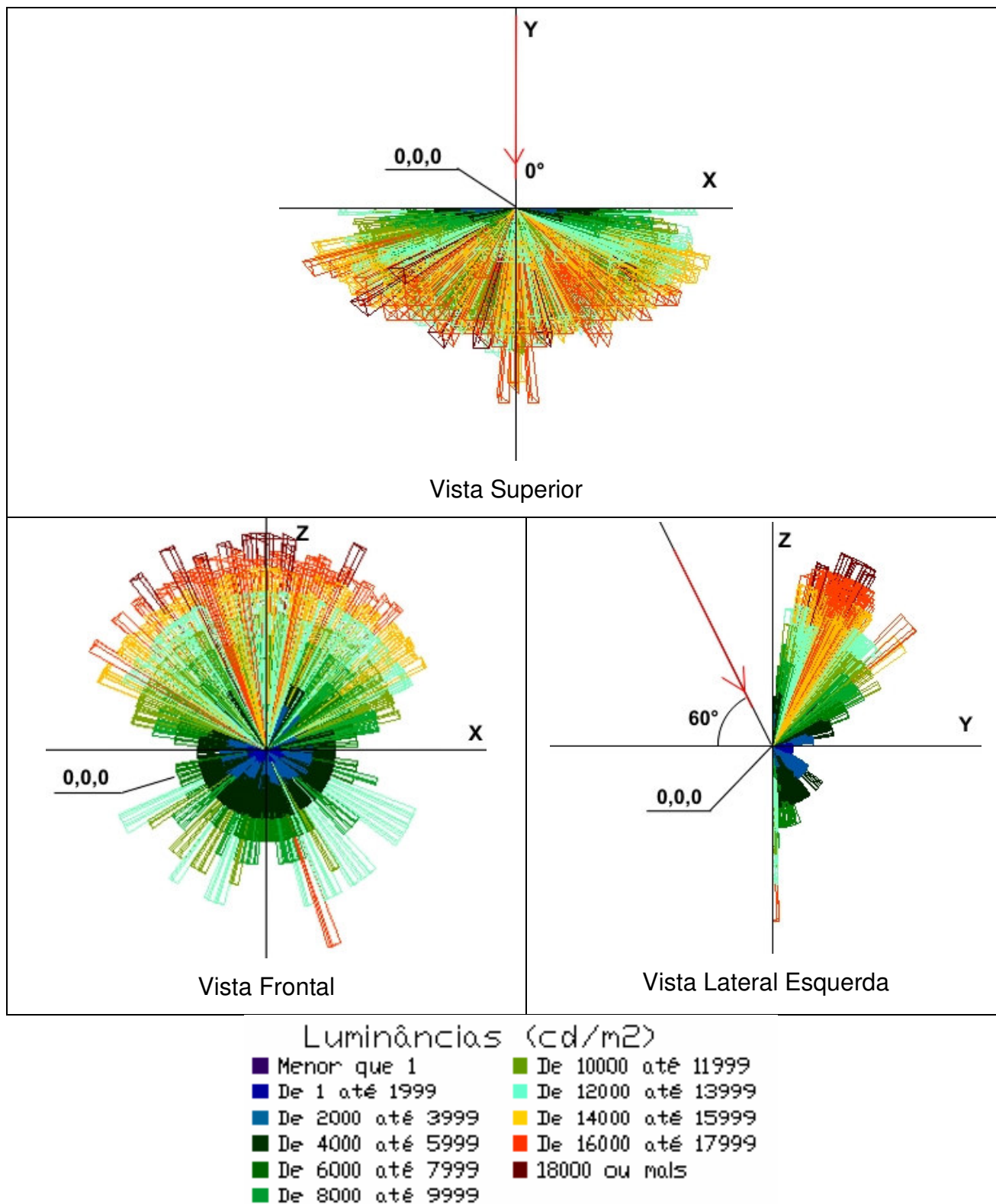


Figura 32 - Distribuição espacial da luz para a situação L

Análise da Situação L:

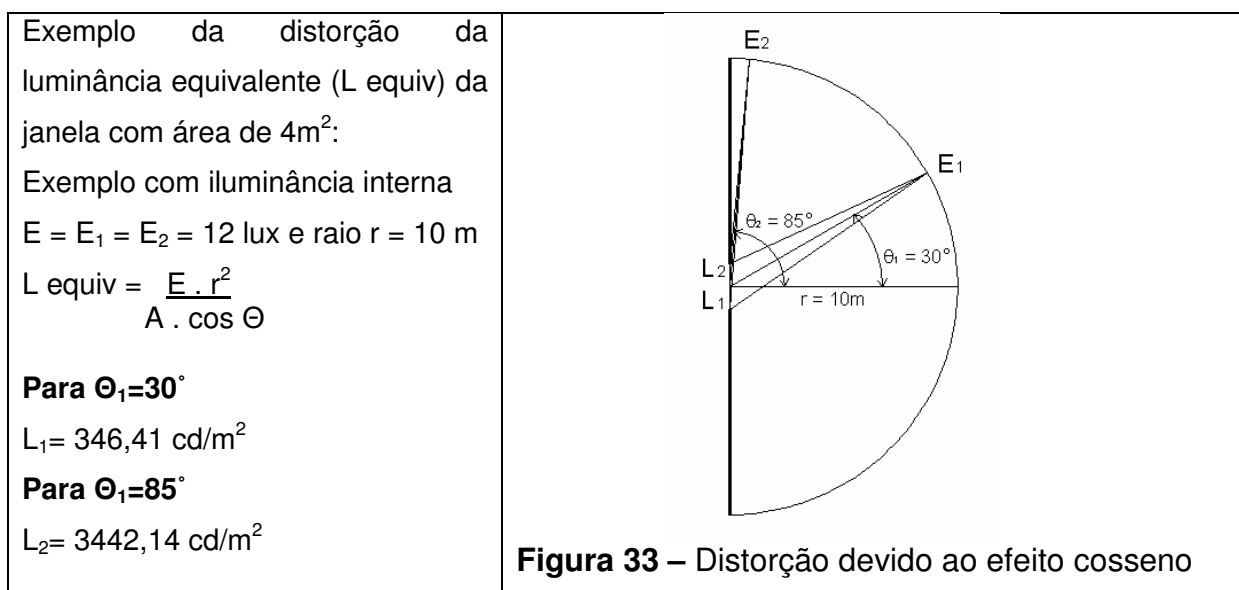
Observa-se, nesta situação, o sombreamento da abertura pelas 10 placas horizontais, somente existindo admissão de luz refletida devido à incidência solar refletida nas placas. Assim, os valores de luminância equivalente da janela são baixos, majoritariamente entre 10.000 e 17.999 cd/m² (verde-claro, azul-claro, amarelo e vermelho), quando comparados aos valores de luminância devido à luz solar direta. O efeito cosseno aparece junto ao hemisfério inferior no eixo Z, com altos valores de luminância equivalente da janela (de 12.000 a 17.999 cd/m²).

Avaliação: adequada representação da distribuição da incidência de luz (somente Sol).

3.3.1 Análise de Distorção dos Valores de Luminância Equivalente da Janela devido ao Efeito cosseno

Além dos testes de confiabilidade acerca da verificação da direção esperada da distribuição da luz admitida a partir da luminância equivalente da janela segundo determinadas alturas e azimutes, foi identificada uma distorção com altos valores de luminância equivalente da janela para o hemisfério superior, inferior, para o lado direito, e para o lado esquerdo, dependendo da situação de análise.

Essa distorção com altos valores encontrados é devida ao efeito cosseno do ângulo de emissão da luz (ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido), em função do conceito adotado da luminância equivalente e seu respectivo cálculo, conforme ilustrado na figura 33.



Por causa desta distorção, com os valores de iluminância na superfície interior da hemisfera e sua relação com a área da janela (exemplo: ponto E_2), altos valores de luminância equivalente da janela são identificados em várias situações de análise quando o ângulo θ se afasta da linha 0 grau, ou seja, em ângulos mais próximos aos 90 graus, tanto no sentido vertical como no sentido lateral da janela.

3.3.2 Características de Configuração Geométrica e de Sombreamento dos Elementos de Controle Solar – ECS selecionados para Análise

Foram selecionados diversos tipos de configuração geométrica de elementos de controle solar (tipos estes análogos a muitos tipos de elementos de controle solar adotados em edifícios), abrangendo diferentes situações de proteção solar, posicionados junto à abertura de 2 x 2 m, na face vertical de hemisfera simulada.

O comprimento ou altura dos elementos de controle solar foi definido como igual ao diâmetro da hemisfera (20 m), numa situação em que esses elementos protegessem a abertura na sua totalidade (semelhante a placas "infinitas"), independentemente dos valores dos ângulos de azimute e altura solar, que poderiam atingir a abertura lateralmente, num ângulo baixo, sem a obstrução do elemento de controle solar em análise.

Foram definidos quatro tipos de elementos de controle solar, para avaliação posterior do fluxo luminoso admitido através da abertura com uso do Programa APOLUX de simulação computacional da luz natural, com o modelo hemisfera, conforme adiante apresentado nas figuras 34 a 39.

Na situação de 10 placas horizontais, o espaçamento entre as placas foi determinado de forma a proporcionar os ângulos de proteção solar vertical de 30 e 60 graus, segundo as alturas de estudo. Para 5 e 10 placas verticais, o espaçamento entre as placas foi determinado de forma a definir um ângulo de proteção solar horizontal lateral de 45 graus.

Assim, para 10 placas horizontais com altura de incidência de luz de 30 graus, as placas possuem uma profundidade de 0,3466 m e espaçamento de 0,22 m; para a altura de 60 graus possuem profundidade de 1,155 m e espaçamento de 0,22 m. Para 5 e 10 placas verticais, foi determinado também um espaçamento homogêneo entre as placas (0,22 m), estas com profundidade de 0,22 m,

Elementos com placas horizontais sobre a abertura:

Com ângulo vertical frontal de obstrução de 30 graus.

- 1 placa horizontal, com 3,466 m de profundidade:

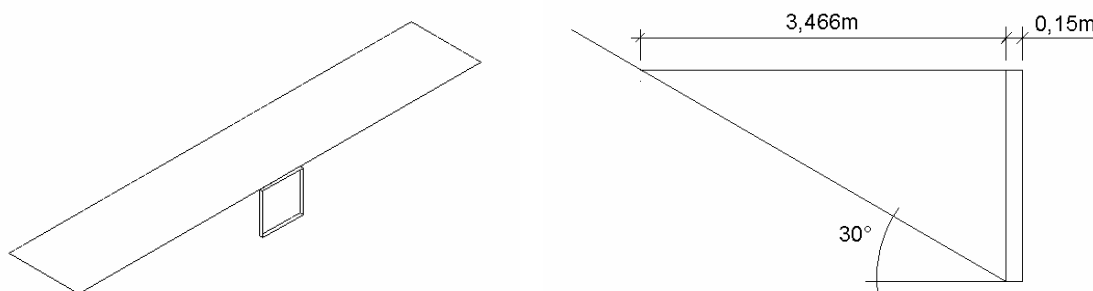


Figura 34 – Isométrica e vista lateral de 1 placa horizontal sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa.

- 10 placas horizontais, distribuídas igualmente na altura da janela, com 0,3466 m de profundidade:

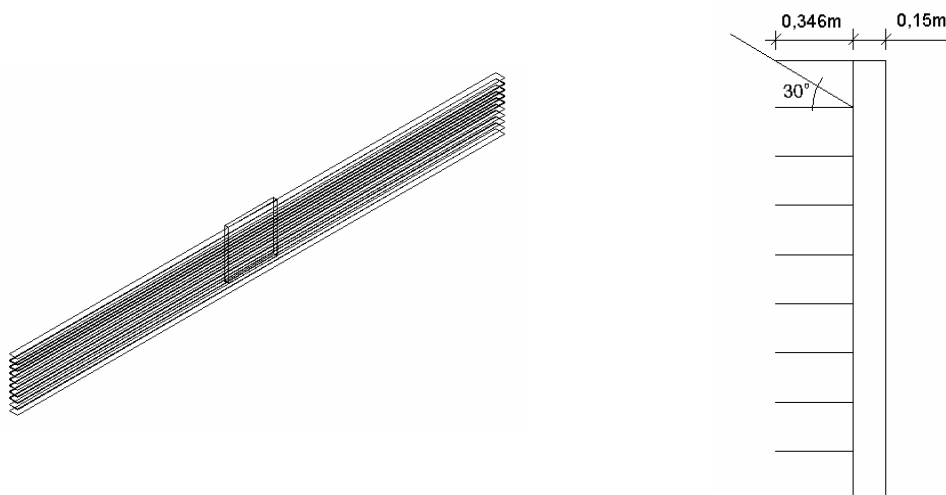


Figura 35 - Isométrica e vista lateral de 10 placas horizontais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa e refletida.

Com ângulo vertical frontal de obstrução de 60 graus.

- 1 placa horizontal, com 1,155 m de profundidade:

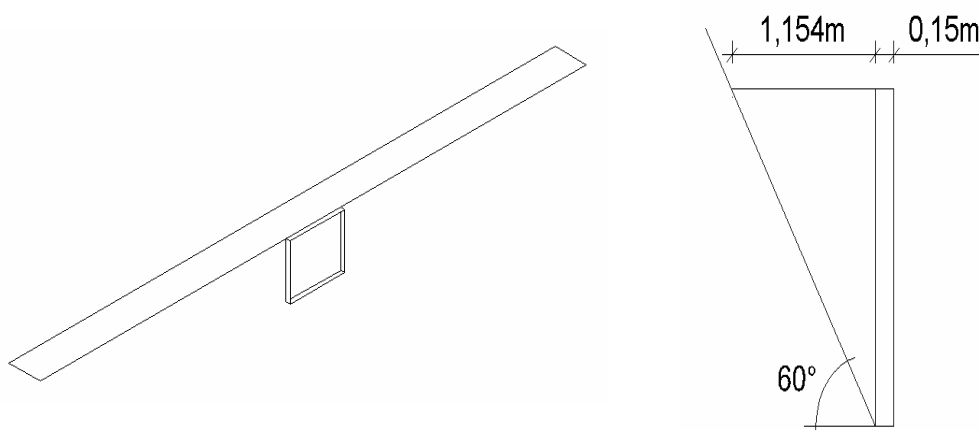


Figura 36 - Isométrica e vista lateral de 1 placa horizontal sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa.

- 10 placas horizontais, distribuídas igualmente na altura da janela, com 0,115 m de profundidade:

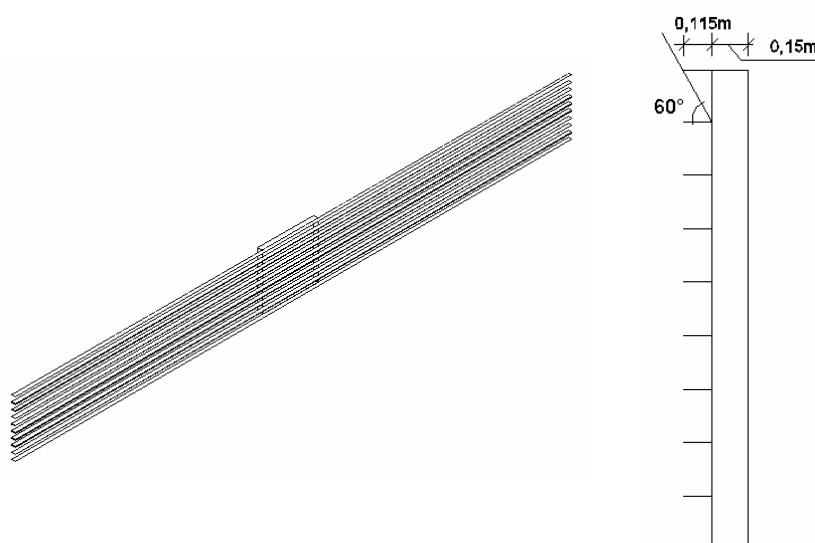


Figura 37 - Isométrica e vista lateral de 10 placas horizontais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa.

Assim, segundo os dois ângulos de altura solar de análise (30 e 60 graus) para os tipos de elementos de controle solar - ECS horizontais foram determinadas dimensões diferentes da profundidade das placas, visando ao sombreamento do Sol naqueles ângulos de altura solar.

Elementos com placas verticais perpendiculares à abertura:

Com ângulo horizontal lateral de obstrução de 45 graus.

- 5 placas verticais de 0,5 m, com espaçamento de 0,5 m entre elas:

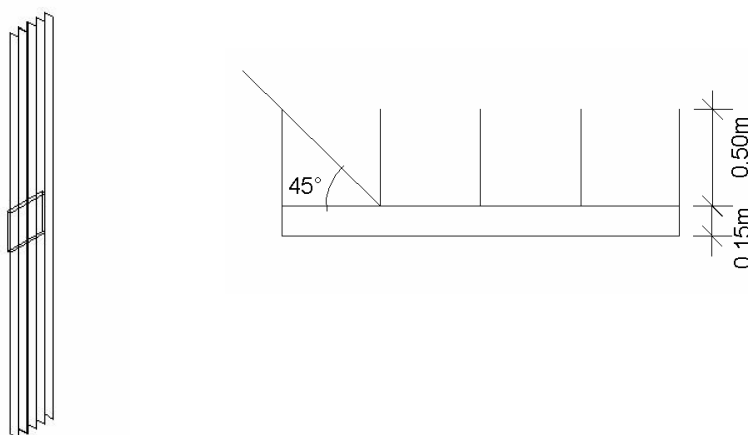


Figura 38 - Isométrica e vista lateral de 5 placas verticais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa e refletida.

- 10 placas verticais de 0,22 m, espaçamento de 0,22 m entre elas:

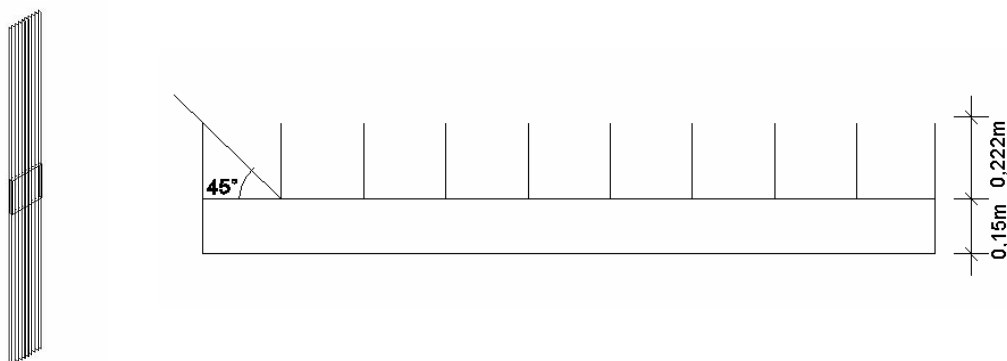


Figura 39 - Isométrica e vista lateral de 10 placas verticais sobre a janela, para estudo de admissão de luz difusa e refletida.

Para os tipos de ECS com placas verticais perpendiculares à janela, a profundidade das placas foi determinada considerando um ângulo horizontal lateral de sombreamento de 45 graus.

A alteração nas dimensões se refere então à definição de situações diferentes de configuração geométrica, uma com 5 placas e outra com 10 placas verticais.

3.4 Processo de Simulação Computacional do Modelo Hemisfera com Base Vertical com Abertura (Janela)

A preparação do modelo em *CAD* visando à simulação computacional da iluminação natural com uso do Programa APOLUX segue inicialmente os seguintes procedimentos:

- geração do arquivo do tipo *dwg* no formato *3D face* num programa *CAD*, com as definições geométricas do modelo em análise, no caso a hemisfera oca com base vertical e abertura;
- exportação do arquivo *dwg* no formato *3DS*;
- criação de um novo arquivo *dwg* e inserção do arquivo *3DS*;
- explosão do modelo;
- salvamento como arquivo do tipo *dxf*, pronto como arquivo de entrada para o Módulo Fractal do Programa APOLUX.

O modelo hemisfera oca com base vertical foi definido no *CAD* (no formato *dxf*) inicialmente com apenas a base mais a hemisfera e o plano do vidro interno; posteriormente, em função das análises realizadas, foram sendo agregados outros arquivos *dxf*, como o plano do externo do vidro, e depois cada tipo de elemento de controle solar de análise. Operacionalmente, no Módulo LuzSolar do Programa APOLUX o plano externo do vidro foi definido como ativo para o cálculo da iluminância incidente e conseqüente cálculo do fluxo luminoso admitido, estando neste caso o plano interno do vidro inativo, visto que um está sobreposto ao outro. Posteriormente, visando o cálculo da luminância equivalente da janela, o plano do vidro externo foi definido como inativo (não participa do cálculo), sendo então considerado o plano do vidro interno, definido como um transmissor especular.

O modelo de simulação foi analisado em diversas condições (geometria; refletância dos elementos de controle solar; espessura de parede e peitoril), possibilitando avaliar os resultados de admissão de luz natural em função de diferentes elementos de controle solar (quatro tipos: 1 placa horizontal; 10 placas horizontais; 5 placas verticais; 10 placas verticais).

A primeira simulação consiste no modelo com abertura de 2 x 2 m localizada na base vertical da hemisfera, simulando uma janela, com vidro de transmitância definida em 85% e nenhum tipo de elemento de controle solar.

As demais simulações incorporarão cada vez diversos elementos de controle solar e suas variações de refletância, espessura de parede e peitoril, identificando a alteração do fluxo luminoso que atravessa a abertura.

Visando o cálculo do fluxo luminoso admitido através da abertura, foi também definido um conjunto de dados específicos para as simulações:

Fracionamento do modelo = 1: possibilitando dividir a hemisfera num número maior de triângulos que o adotado pelo *CAD* para construção do modelo da hemisfera, assim como para a face vertical que contém a abertura. Com esse fracionamento, tem-se uma adequada divisão da representação no *CAD* em triângulos, pois esse número de triângulos possibilita uma boa "varredura" da luz incidente.

Fracionamento do modelo = 10: possibilitando dividir a abertura num número maior de triângulos que o adotado pelo *CAD* para construção do modelo, permitindo um maior refinamento dos dados de medição de iluminância neste plano externo do vidro, resultando em 121 pontos (11 x 11) de cálculo de iluminância que representam o fluxo luminoso admitido através da abertura segundo o somatório de cada área de contribuição, ou seja, os 4 m² dividido por 121 = 0,0330578 m². Com uma maior divisão do plano externo do vidro é possível identificar os diferentes valores de iluminância neste plano, em função da influência dos elementos de controle solar no seu sombreamento.

Como o arquivo *dxf* do *CAD* modifica o número e a identificação dos diferentes planos que compõem o modelo hemisfera (que acarretaria não uniformidade na identificação nos planos), os arquivos de entrada do tipo *dxf* para o Módulo Fractal foram definidos como vários arquivos. Primeiro foi definido o arquivo com a hemisfera com a abertura na base vertical e o vidro interno, e outros arquivos contendo o vidro externo em *dxf*, e o desenho em *dxf* do elemento de controle solar a ser adicionado na abertura. Dessa forma, a medição de iluminância no plano da janela e no interior da hemisfera, permanece no mesmo número de identificação do plano do modelo inicial.

Materiais:

- opacos difusos (perfeitamente difusores), com refletâncias zero para as superfícies internas da hemisfera (analisando desse modo apenas a luz direta incidente, devido à não ocorrência de refletância interna) e de 75 % para os planos dos diferentes elementos de controle solar (placas) e para a face vertical que contém

a abertura, representativos da cor branca. Esta especificação quanto a refletância, adotou a condição de reflexão da luz para o interior do ambiente interno quando incidente em partes dos elementos de controle solar, ou ainda na base vertical.

Globo: foi definida a divisão do globo em duas situações:

- Para cálculo das iluminâncias no vidro externo sem nenhum tipo de elementos de controle solar, foi adotado o globo em 30 faixas (com divisão do céu em 5.902 parcelas), permitindo uma boa representação das parcelas de contribuição em diferentes partes do céu.

- Para o cálculo das iluminâncias no vidro externo com os elementos de controle solar, foi adotado globo em 90 faixas (com divisão do céu em 52.670 parcelas), permitindo uma melhor representação das parcelas de contribuição em diferentes partes do céu, onde a contribuição de cada pequena parcela do céu possa influenciar adequadamente a incidência solar sobre os elementos de controle solar na abertura.

Abóbada: estes parâmetros de entrada foram adotados em função da altura e do azimute solar analisados. Desse modo, tanto a latitude, a longitude, o dia e a hora foram definidos de maneira a identificar essa combinação de altura e azimute solar, no caso:

- altura solar de 30 e 60 graus, nos azimutes 0, 60 e -60 graus.

Os azimutes representam a incidência solar perpendicular ao centro da abertura na base vertical da hemisfera, e sua variação tanto para o lado direito como esquerdo, ou seja, numa incidência oblíqua do sol.

A representação gráfica dos ângulos de altura e de azimute da incidência do luz para o modelo hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz é ilustrada na figura 40.

Para a adequada modelagem dos elementos de controle solar visando a representação da reflexão da luz nas placas intermediárias (para as situações de 10 PH, 5 PV e 10 PV), as mesmas foram definidas no *CAD* como do tipo “sanduíche”. Assim, como placas com 2 faces (separadas por uma distância mínima), cada uma assume as características de refletância antes definidas quando da especificação dos materiais no Programa APOLUX.

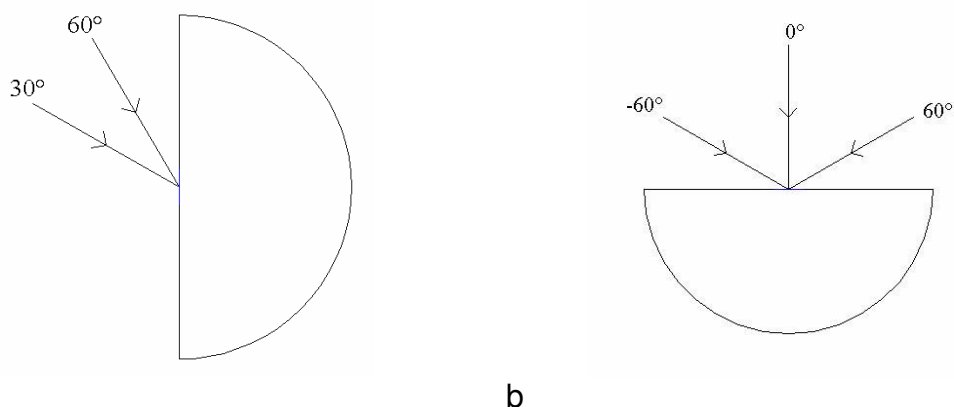


Figura 40 - Ângulos de incidência de luz de análise em corte (alturas 30°, 60°) e em planta (azimutes 0°, 60° e - 60°), a partir do centro da abertura na hemisfera

Após a definição geométrica no arquivo *dxg*, é feita sua análise no Módulo Fractal, onde é realizado o fracionamento do modelo, gerando um arquivo para análise do tipo projeto. O fator de fracionamento adotado foi de 0,2, representando que os planos existentes na hemisfera oca com base vertical, vidro interno, vidro externo e elementos de controle solar serão fracionados em triângulos não maiores que 0,2 m², gerando mais de 6000 triângulos utilizados para o cálculo das iluminâncias e luminância necessárias para as análises.

Para o ambiente interno representado pela hemisfera oca com abertura, todos os triângulos situam-se de forma a estarem voltados na direção da janela, com os respectivos valores de iluminâncias internas, representativas das diferentes luminâncias equivalentes da janela.

Com o arquivo do tipo projeto no Módulo Luzsolar, são ajustados os dados de entrada de configuração de globo e da abóbada, iniciando-se o cálculo do fator de forma e da radiosidade.

Os parâmetros abaixo foram definidos para o conjunto das simulações:

<ul style="list-style-type: none"> - longitude: 49 graus oeste; - altitude: 2 m; - condição do ar (turbamento sob céu sem nuvem): áreas litorâneas = 3; - tipo de céu: limpo; 	<ul style="list-style-type: none"> - fator de neblina: 1. - tipo de cálculo: Sol e Céu; depois somente Sol; - fator de turbamento: 2; - considera equação do tempo: não (adotada a hora solar verdadeira).
---	--

Os modelos de simulação da hemisfera no programa APOLUX consistem em arquivos em *CAD*, inicialmente sem elementos de controle solar, conforme adiante apresentado nas figuras 41 a 46.

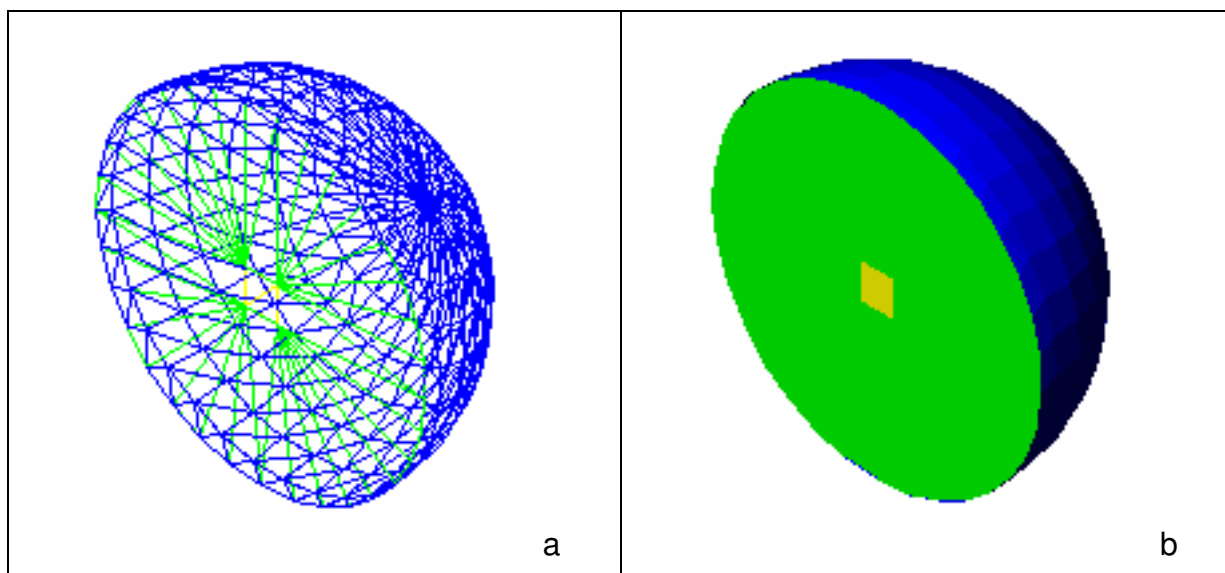


Figura 41- Vista isométrica da hemisfera com base vertical e a abertura gerada no *CAD* (arquivo *dwg* em linhas (a) e como sólido (b)), modelo base sem os ECS.

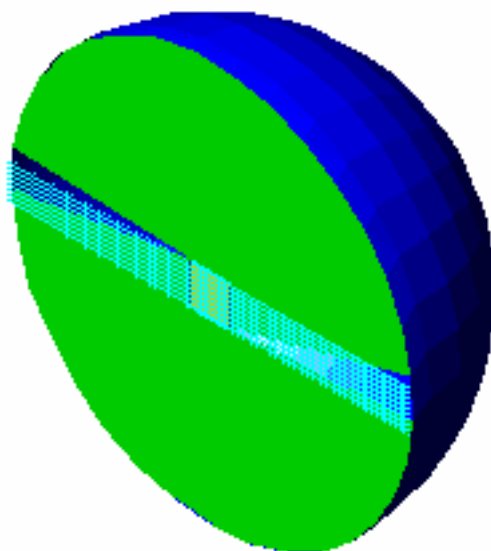


Figura 42 - Hemisfera com base vertical e a abertura com vidro gerada no *CAD* (arquivo tipo *dwg* como sólido), exemplo para o modelo com um tipo de elemento de controle solar (10 placas horizontais) na abertura.

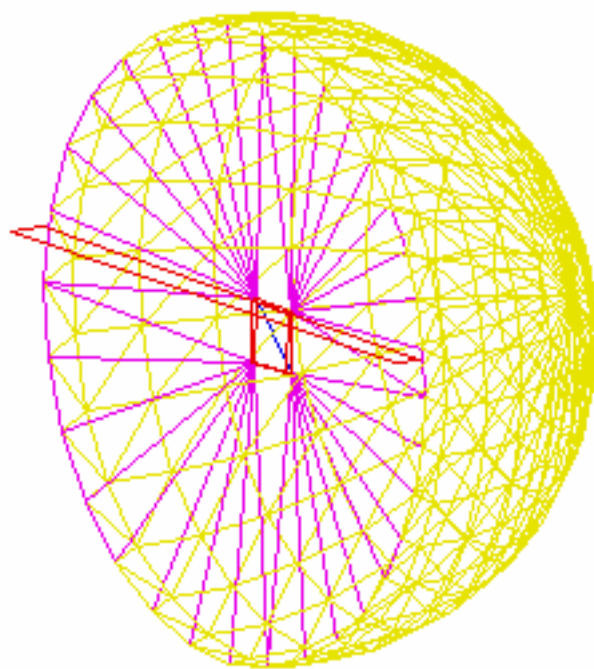


Figura 43 - Vista externa no Módulo Fractal da hemisfera com base vertical, 1 placa horizontal sobre a abertura.

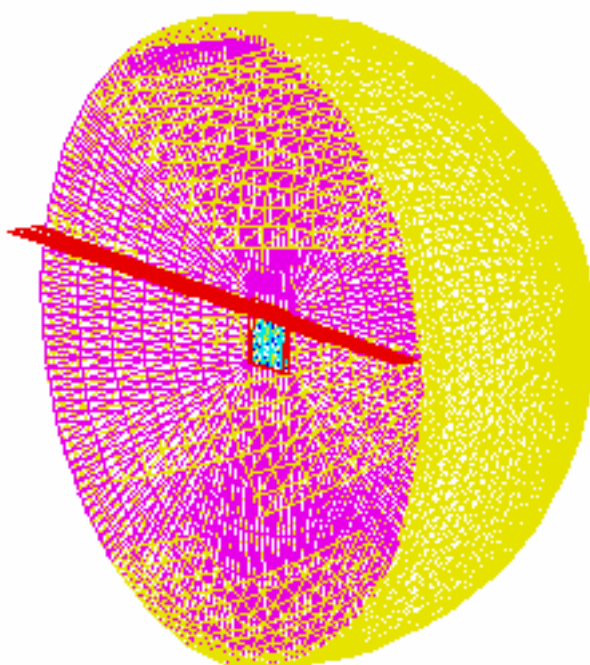


Figura 44 - Vista externa do fracionamento da hemisfera com base vertical, abertura e ECS no Módulo Fractal.

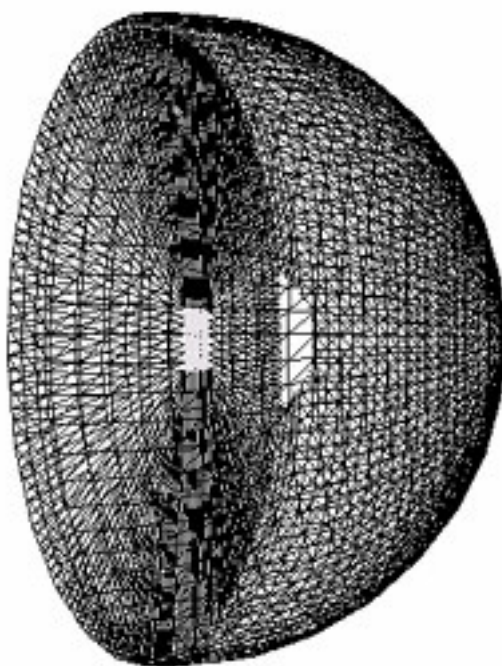


Figura 45 - Vista externa do Modelo Base (sem elementos de controle solar) da hemisfera com base vertical e a abertura no Programa APOLUX, Módulo LuzSolar (arquivo de projeto).

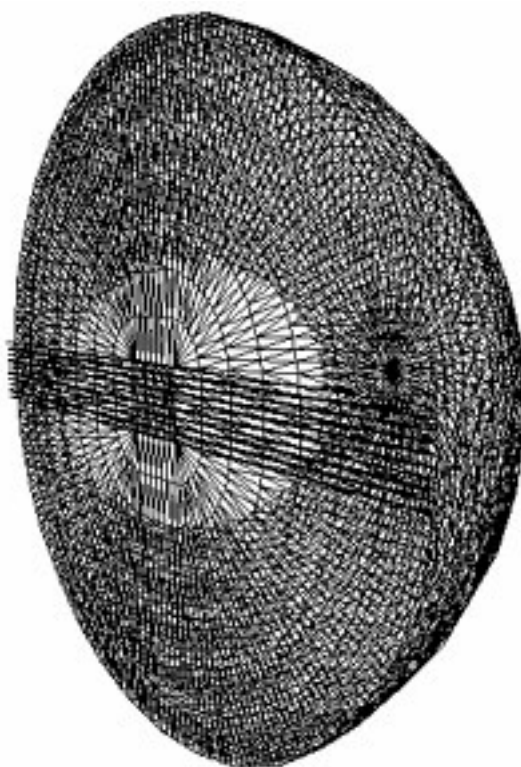


Figura 46 - Vista externa do Modelo da hemisfera com base vertical e a abertura simulada no Programa APOLUX no Módulo Luz Solar com 10 placas horizontais.

Com base nas duas alturas (30 e 60 graus) e três azimutes de estudo (0, 60 e - 60 graus), os elementos de controle solar (ECS) foram avaliados em função da variação da sua geometria (1 PH e 10 PH; 5 PV e 10 PV) e da refletância (75% e 20%), resultando num conjunto de 21 situações de simulações a seguir identificadas, para avaliação do fluxo luminoso admitido e da luminância equivalente da janela:

GEOMETRIA: refletância dos ECS de 75% e espessura de parede/peitoril de 0,15m:

- | | |
|---|--|
| 1) 1 PH com altura 30 e azimute 0; | 9) 1 PH com altura 60 e azimute -60; |
| 2) 1 PH com altura 30 e azimute 60; | 10) 10 PH com altura 60 e azimute 0; |
| 3) 1 PH com altura 30 e azimute -60; | 11) 10 PH com altura 60 e azimute 60; |
| 4) 10 PH com altura 30 e azimute 0; | 12) 10 PH com altura 60 e azim. -60; |
| 5) 10 PH com altura 30 e azimute 60; | 13) 5 PV com altura 30 e azimute 60; |
| 6) 10 PH com altura 30 e azim. -60; | 14) 10 PV com altura 30 e azimute 60; |
| 7) 1 PH com altura 60 e azimute 0; | 15) 5 PV com altura 60 e azimute 60; |
| 8) 1 PH com altura 60 e azimute 60; | 16) 10 PV com altura 60 e azimute 60. |

REFLETÂNCIA DOS ECS: 20% ao invés de 75% antes simulado:

- | | |
|--|--|
| 17) 10 PH com altura 60 e azimute 0; | 20) 5 PV com altura 60 e azimute 60; |
| 18) 10 PH com altura 60 e azimute 60; | 21) 10 PV com altura 60 e azimute 60. |
| 19) 10 PH com altura 30 e azim. -60; | |

Esse conjunto de 21 simulações possibilitou identificar a influência da geometria e da refletância dos elementos de controle solar na admissão de luz natural (fluxo luminoso) e sua distribuição para o interior (luminância equivalente da janela).

Esses resultados de fluxo luminoso (lm) constam de diversas tabelas no Apêndice; a situação 1 é apresentada no capítulo 4.

Os valores de fluxo luminoso calculados para as 21 situações foram identificados nas tabelas, como a seguir especificado:

- Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso** - lm):

Φ Ext (lm) Sol+Céu: fluxo luminoso no plano vertical exterior da abertura, situação sem ECS devido as fontes de luz natural Sol e céu.

Φ Ext (lm) Somente Sol: fluxo luminoso no plano vertical exterior da abertura, situação sem ECS devido a fonte de luz natural Sol.

Φ Efeito ECS (lm): fluxo luminoso no vidro externo com somente efeito dos ECS, devido as fontes de luz natural Sol e céu.

Φ Adm (lm): fluxo luminoso admitido internamente após atravessar o vidro, devido as fontes de luz natural Sol e céu.

T_{dh}: transmitância direcional hemisférica da luz de acordo com a incidência de luz (altura e azimute): quociente entre o fluxo luminoso admitido e o fluxo incidente.

- Distribuição espacial da luz (**Luminância Equivalente da Janela** -cd/m²):

Os resultados de luminância equivalente da janela (cd/m²) são também apresentados no capítulo 4, agrupados em função da similaridade dos resultados encontrados, na forma de imagens do tipo *dxf* representativas da variação da distribuição espacial da luz natural admitida, assim como na forma de representação em gráficos do tipo 2 D e 3 D.

O conjunto total de simulações finais desta tese foi de onze simulações testes de confiabilidade do programa (na parte de luminância equivalente da janela representativa da distribuição espacial da luz natural admitida), mais 21 situações de análise da influência das variáveis de estudo (geometria, refletância dos elementos de controle solar), na iluminância no plano do vidro externo e na luminância equivalente da janela.

Esse total de 32 simulações finais foi processado em aproximadamente 192 horas-computador (6 h por simulação), sem contar o tempo de modelagem da hemisfera no *CAD* até a geração do arquivo *dxf* de entrada no Programa APOLUX.

Além desse tempo final de simulação, aproximadamente uma centena de simulações devido a testes, ajustes, estudos de caso foram anteriormente realizadas com o Programa APOLUX, desde a fase inicial de reconhecimento até a fase de definição do modelo final hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz, em que foram adicionados os diferentes tipos de elementos de controle solar de análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados e analisados referem-se ao fluxo luminoso admitido, representativo da quantidade de luz que atravessou a janela após passar pelo efeito dos elementos de controle solar e pela transmitância do vidro (85%), permitindo comparar diferentes tipos de elementos em função dos ângulos de altura e azimutes analisados, representativos da incidência de luz na abertura.

Junto a isso, os resultados da luminância equivalente da janela apresentados, representam as “direções da luz” a partir do centro da janela em direção ao interior da hemisfera, identificando a distribuição espacial da luz incidente em função dos azimutes e alturas estudados.

Esses resultados do fluxo luminoso (lm) e da luminância equivalente da janela (cd/m^2) são apresentados no Apêndice em tabelas individuais para os diferentes tipos de elementos de controle solar (ECS) analisados quanto à influência da sua geometria e refletância, nas situações 1 até 21.

Os resultados de luminância equivalente da janela foram agrupados segundo o respectivo comportamento radiante da abertura com seu respectivo elemento de controle solar adicionado e incidência de luz natural (altura e azimute), num conjunto de diversas categorias de resultados similares. Assim, o comportamento radiante das aberturas com elementos de controle solar, foram agrupados em nove tipos:

- I. Para as situações 1 e 7;
- II. Para as situações 2 e 8;
- III. Para as situações 3 e 9;
- IV. Para as situações 4, 10 e 17;
- V. Para as situações 5, 11 e 18;
- VI. Para as situações 6, 12 e 19;
- VII. Para as situações 13 e 14;
- VIII. Para as situações 15 e 16;
- IX. Para as situações 20 e 21.

Os resultados da luminância equivalente da janela caracterizadora do comportamento radiante das aberturas, são adiante apresentados no item 4.1.4.

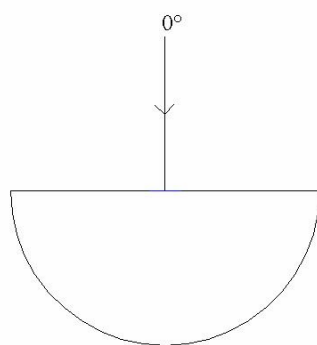
4.1. Resultados de Fluxo Luminoso para Situações 1 a 21

A seguir é apresentado um exemplo (tabela 2 e figura 47) de uma situação de análise (situação 1) dos resultados de fluxo luminoso, identificando para os tipos de elementos de controle solar (1 PH; 10 PH; 5 PV; 10 PV) a influência da GEOMETRIA e REFLETÂNCIA.

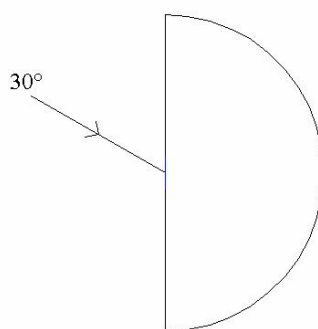
As demais situações (2 até 21) do fluxo luminoso admitido são apresentadas individualmente no Apêndice.

Tabela 2 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) – Situação 1

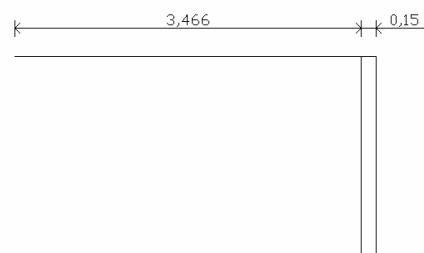
SITUAÇÃO 1: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): 1PH de 3,466m							
Espessura de parede e peitoril: 0,15m				Refletância dos ECS: 75%			
ALTURA 30° AZIMUTE 0°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T _{dh}
			lm	%	lm	%	
326.818	307.263 (94,01%)	1 PH	6.631	2,02	5.637	1,72	0,0172



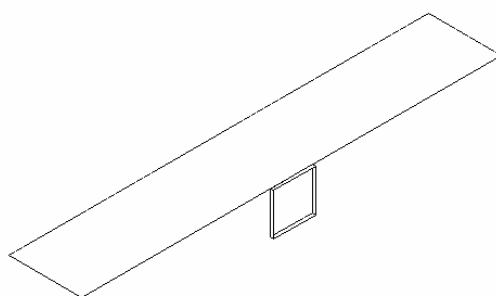
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede



Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 47 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise

4.1.1 Análise dos Resultados do Fluxo Luminoso - Influência da Geometria dos Elementos de Controle Solar

A seguir são apresentados os resultados comparativos de fluxo luminoso para 1 PH nas alturas e azimutes estudados (figura 48), avaliando a influência da GEOMETRIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

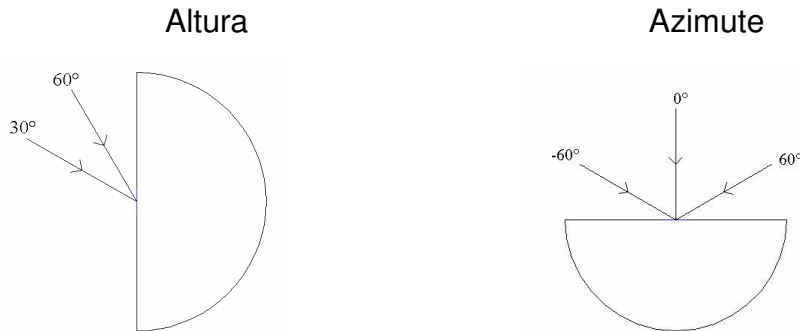


Figura 48 – Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada

Tabela 3 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 1 PH

A 1 PH - ALTURA 30° com AZIMUTES			
	- 60°	0°	60°
Φ Adm (lm)	4.204	5.637	4.222
T_{dh}	0,0395	0,0172	0,0378
B 1 PH - ALTURA 60° com AZIMUTES			
	- 60°	0°	60°
Φ Adm (lm)	6.619	7.631	6.519
T_{dh}	0,1537	0,0597	0,1750

Análise dos resultados:

Na comparação da admissão de luz natural difusa em função da variação da altura solar (de 30° para 60°), houve um aumento de 35,37% no azimute 0°, 54,40% no azimute 60° e 57,44% no azimute - 60°. Esses maiores valores são devido ao maior brilho da abóbada celeste para altura 60° (luz difusa), quando comparada com altura 30°. As pequenas variações do fluxo luminoso admitido em azimutes opostos (60° e -60°), são devido a pequenas variações nestes ângulos, definidos em função de determinada latitude, longitude, dia e hora necessários para a adequada combinação de cada altura e azimute de estudo.

Seguem os resultados comparativos de fluxo luminoso para 10 PH nas alturas e azimutes estudados (figura 49), avaliando a influência da GEOMETRIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

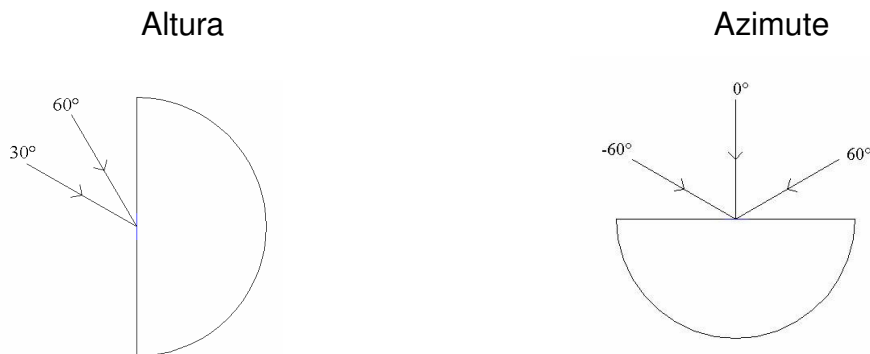


Figura 49 – Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada

Tabela 4 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 10 PH

A 10 PH - ALTURA 30° com AZIMUTES			
	- 60°	0°	60°
Φ Adm (lm)	15.880	35.145	15.375
T_{dh}	0,1492	0,1075	0,1376
B 10 PH - ALTURA 60° com AZIMUTES			
	- 60°	0°	60°
Φ Adm (lm)	23.560	45.971	22.654
T_{dh}	0,5469	0,3596	0,6081

Análise dos resultados:

Os resultados encontrados indicam que o tipo de elemento de controle solar 10 placas horizontais possibilitou admissão de luz difusa e refletida, com grande reflexão da luz natural nas placas horizontais nos azimutes de estudo, em maiores valores de fluxo luminoso admitido do que a situação comparativa anterior de 1 PH.

Na comparação da admissão de luz natural em função da variação da altura solar (de 30° para 60°), houve um aumento de 30,80% no azimute 0°, 47,34% no azimute 60° e 48,36% no azimute -60°. Os maiores valores de fluxo luminoso admitido na variação de altura de 30° para 60°, assim como a pequena variação segundo os azimutes opostos, explicam-se como antes citado na análise da tabela anterior.

Seguem os resultados comparativos de fluxo luminoso para 5 PV nas alturas e azimuth estudado (figura 50), avaliando a influência da GEOMETRIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

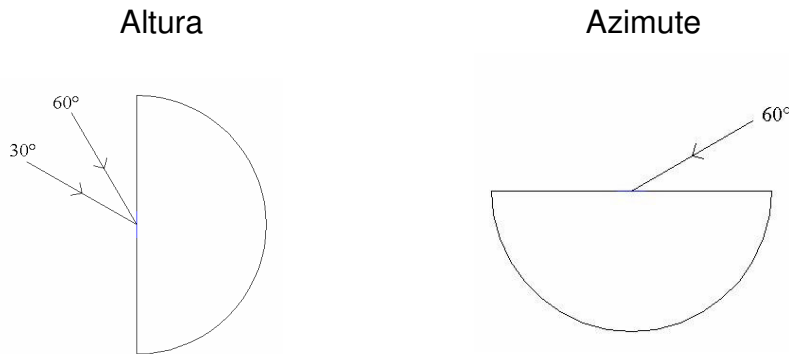


Figura 50 – Ângulos de altura e azimuth de incidência de luz analisada

Tabela 5- Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimuth: 5 PV

A 5 PV - ALTURA 30° com AZIMUTE 60°	
Φ Adm (lm)	27.351
T_{dh}	0,2448
B 5 PV - ALTURA 60° com AZIMUTE 60°	
Φ Adm (lm)	14.656
T_{dh}	0,3935

Análise dos resultados:

Os resultados encontrados indicam que o tipo de elemento de controle solar 5 placas verticais na altura 30°, quando comparado com 60°, possibilitou somente admissão de luz difusa e refletida, com reflexão da luz nas partes laterais do elemento de controle solar, no azimuth estudado.

Na comparação do fluxo luminoso admitido de 5 PV altura 60° com 5 PV altura 30°, observa-se uma redução da admissão de luz natural de - 46,41%, devido ao maior bloqueio da luz difusa e menor reflexão nas partes laterais do elemento de controle solar, para o azimuth estudado.

Seguem os resultados comparativos de fluxo luminoso para 10 PV nas alturas e azimuth estudado (figura 51), avaliando a influência da GEOMETRIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

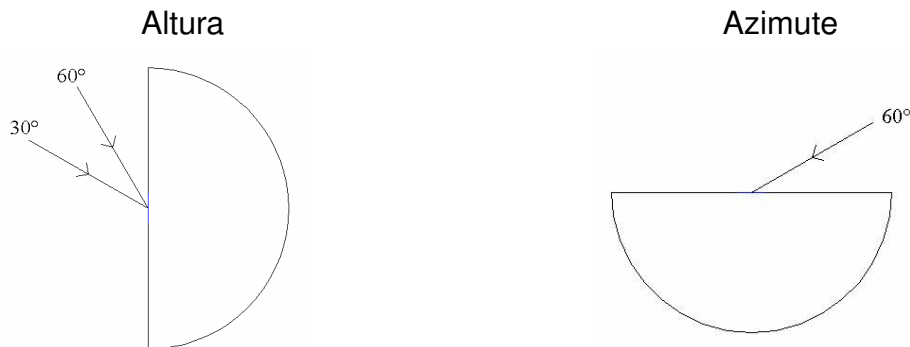


Figura 51 – Ângulos de altura e azimuth de incidência de luz analisada

Tabela 6 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimuth: 10 PV

A 10 PV - ALTURA 30° com AZIMUTE 60°	
Φ Adm (lm)	29.275
T_{dh}	0,2621
B 10 PV - ALTURA 60° com AZIMUTE 60°	
Φ Adm (lm)	14.259
T_{dh}	0,3827

Análise dos resultados:

Os resultados encontrados indicam que o tipo de elemento de controle solar 10 placas verticais altura 30°, possibilitou maior reflexão da luz nas partes laterais, quando comparado com altura 60°, para o azimuth estudado.

Análise dos Resultados da Transmitância Direcional Hemisférica :

Os resultados da transmitância direcional hemisférica antes apresentados nas tabelas 3,4,5,6 para 1 PH, 10 PH, 5 PV e 10 PV respectivamente, identificaram aumento dos valores com a variação da altura solar de análise de 30° para 60°, aumentando assim a admissão de luz natural em termos relativos.

4.1.2 Análise dos Resultados do Fluxo Luminoso - Influência da Refletância dos Elementos de Controle Solar

Seguem agora os resultados comparativos de fluxo luminoso para 10 PH na altura 60 graus e azimutes 0, 60 e - 60 graus (figura 52), avaliando a influência da REFLETÂNCIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

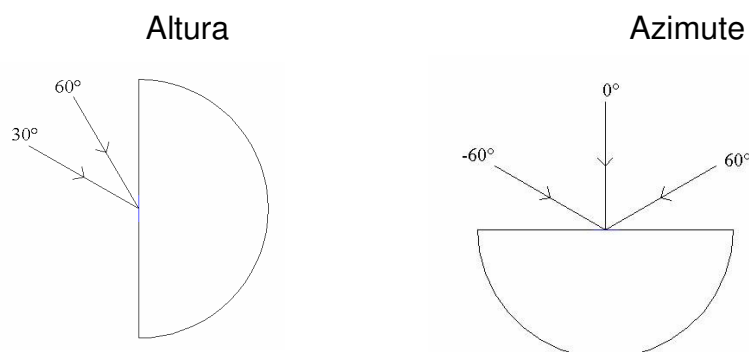


Figura 52 – Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada

Tabela 7 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de elemento de controle solar segundo direções de azimute: 10 PH com refletância de 75% e 20%

A 10 PH - ALTURA 60° com AZIMUTES			
Refletância 75%	- 60°	0°	60°
Φ Adm (lm)	23.560	50.783	24.654
T_{dh}	0,5469	0,3596	0,6081
B 10 PH - ALTURA 60° com AZIMUTES			
Refletância 20%	- 60°	0°	60°
Φ Adm (lm)	9.525	14.910	9.269
T_{dh}	0,2211	0,1166	0,2488

Análise dos resultados:

Os resultados encontrados mostram a influência da reflexão da luz nas 10 placas horizontais do elemento de controle solar. Com refletância de 75%, os valores de luz natural admitida são maiores em 340,59% que os de refletância 20% no azimute 0 grau e numa proporção menor nos azimutes 60 (+265,98%) e - 60 graus (+247,34%), pois, nestas duas últimas condições, a quantidade de luz potencialmente refletida é menor do que na situação do azimute 0 grau. As pequenas variações do fluxo luminoso admitido em azimutes opostos (60° e -60°), são devido a pequenas variações nestes ângulos, como já explicado.

Seguem os resultados comparativos de fluxo luminoso para 5 PV na altura 60 graus e azimute 60 graus (figura 53), avaliando a influência da REFLETÂNCIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

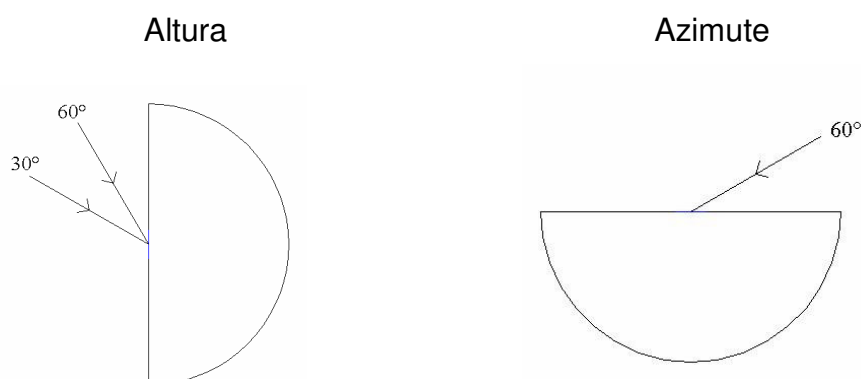


Figura 53 – Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada

Tabela 8 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para cada tipo de elemento de controle solar segundo cada direção de azimute: 5 PV com refletância de 75% e 20%

A	5 PV - ALTURA 60° com AZIMUTE 60°
Refletância 75%	
Φ Adm (lm)	14.656
T_{dh}	0,3935
B	5 PV - ALTURA 60° com AZIMUTE 60°
Refletância 20%	
Φ Adm (lm)	5.663
T_{dh}	0,1520

Análise dos resultados:

Os resultados encontrados mostram a influência da reflexão da luz nas 5 placas verticais do elemento de controle solar. Com refletância de 75%, os valores de luz natural admitida são maiores em 264,10% que os de refletância 20% no azimute de 60 graus, representativo da reflexão da luz natural nas placas verticais à abertura.

Seguem os resultados comparativos de fluxo luminoso para 10 PV na altura 60 graus e azimute 60 graus (figura 54), avaliando a influência da REFLETÂNCIA DOS ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR.

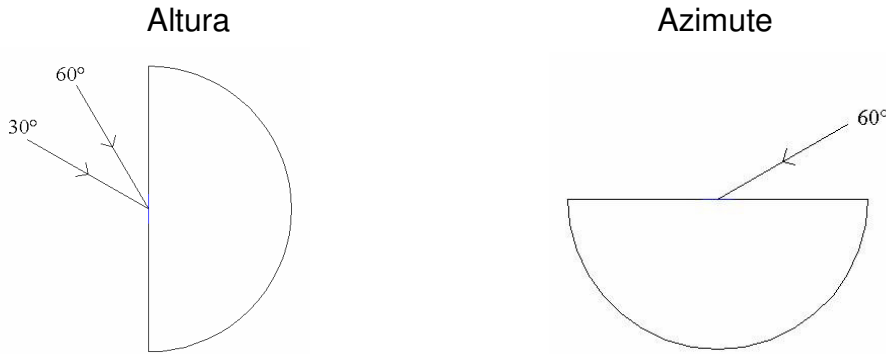


Figura 54 – Ângulos de altura e azimute de incidência de luz analisada

Tabela 9 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de elemento de controle solar segundo direções de azimute: 10 PV com refletância de 75% e 20%

A	10 PV - ALTURA 60°
Refletância 75%	AZIMUTE 60°
Φ Adm (lm)	13.675
T_{dh}	0,3827
B	10 PV - ALTURA 60°
Refletância 20%	AZIMUTE 60°
Φ Adm (lm)	5.532
T_{dh}	0,1485

Análise dos resultados:

Os resultados encontrados mostram a influência da reflexão da luz nas 10 placas verticais do elemento de controle solar. Com refletância de 75%, os valores de luz natural admitida são maiores em 247,19% que os de refletância 20% no azimute de 60 graus, representativo da reflexão da luz natural nas placas verticais para a abertura.

Na comparação dos elementos de controle solar 5 PV (tabela 8) e 10 PV (tabela 9), com mesma situação geométrica de proteção solar, a luz natural admitida (fluxo luminoso) apresentou valores muito próximos, conforme a variação de refletância estudada.

A seguir são apresentados nas tabelas 10 a 22, os resultados de fluxo luminoso para situações comparativas de tipos de elementos de controle solar (dois a dois).

Tabela 10 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS – Situação 22

SITUAÇÃO 22 Comparativo ALTURA 30° AZIMUTE 0°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
326.818	307.263 (94,01%)	1 PH	6.631	5.637	0,0172
		10 PH	41.347	35.145	0,1075

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 10 e Gráfico 3, para uma mesma situação de sombreamento da abertura por meio de diferentes tipos de ECS (1PH e 10 PH), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH comparado com 1 PH, houve um aumento de 623,46% do fluxo luminoso admitido (de 5.637 lm para 35.145 lm), devido ao incremento da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais.

Tabela 11 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS – Situação 23

SITUAÇÃO 23 Comparativo ALTURA 30° AZIMUTE 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
111.693	96.041 (85,98%)	1 PH	4.967	4.222	0,0378
		10 PH	18.089	15.375	0,1376

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 11 e Gráfico 4, para uma mesma situação de sombreamento da abertura por meio de diferentes tipos de ECS (1 PH e 10 PH), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH comparado com 1 PH, houve um aumento de 364,25% do fluxo luminoso admitido (de 4.221 lm para 15.375 lm), devido ao incremento da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais.

Tabela 12 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS – Situação 24

SITUAÇÃO 24 Comparativo ALTURA 30° AZIMUTE - 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
106.378	90.786 (85,38%)	1 PH	4.946	4.204	0,0395
		10 PH	18.682	15.880	0,1492

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 12 e Gráfico 5, para uma mesma situação de sombreamento da abertura por meio de diferentes tipos de ECS (1PH e 10 PH), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH comparado com 1 PH, houve um aumento de 377,73% do fluxo luminoso admitido (de 4.204 lm para 15.880 lm), devido ao incremento da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais.

Tabela 13 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS – Situação 25

SITUAÇÃO 25 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE 0°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
127.805	111.597 (87,31%)	1 PH	8.977	7.631	0,0597
		10 PH	54.083	45.971	0,3596

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 13 e Gráfico 6, para uma mesma situação de sombreamento da abertura por meio de diferentes tipos de ECS (1PH e 10 PH), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH comparado com 1 PH, houve um aumento de 602,42% do fluxo luminoso admitido (de 7.631 lm para 45.971 lm), devido ao incremento da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais.

Tabela 14 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS – Situação 26

SITUAÇÃO 26 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
37.251	23.402 (62,82%)	1 PH	7.669	6.519	0,1750
		10 PH	26.652	22.654	0,6081
		5 PV	17.243	14.656	0,3935
		10 PV	16.776	14.259	0,3827

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 14 e Gráfico 7, para uma mesma situação de sombreamento da abertura por meio de diferentes tipos de ECS (1PH e 10 PH; 5 PV e 10 PV), existem variações quanto à admissão de luz.

Para 10 PH comparado com 1 PH, houve um aumento de 347,50% do fluxo luminoso admitido (de 6.519 lm para 22.654 lm), devido ao incremento da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais.

Para 10 PV comparado com 5 PV, houve uma redução de 2,70% do fluxo luminoso admitido (de 14.259 lm para 14.656 lm), devido à perda de luz nos processos de inter-reflexões sucessivas entre as 10 PV, processo este mais intenso do que com 5 PV.

Tabela 15 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS – Situação 27

SITUAÇÃO 27 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE - 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
43.077	29.037 (67,40%)	1 PH	7.788	6.619	0,1537
		10 PH	27.718	23.560	0,5469

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 15 e Gráfico 8, para uma mesma situação de sombreamento da abertura por meio de diferentes tipos de ECS (1PH e 10 PH), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH comparado com 1 PH, houve um aumento de 355,94% do fluxo luminoso admitido (de 6.619 lm para 23.560 lm), devido ao incremento da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais.

Tabela 16 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS com variação da refletância – Situação 28

SITUAÇÃO 28 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE 0°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
127.805	111.597 (87,31%)	10 PH 75%	54.083	45.971	0,3596
		10 PH 20%	17.541	14.910	0,1166

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 16, para uma mesma situação de sombreamento da abertura devido ao tipo de ECS (10 PH) e diferentes percentuais de refletância (75% e 20%), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH com 20% de refletância comparado com 10 PH com 75% de refletância, houve um aumento de 308,32% do fluxo luminoso admitido (de 14.910 lm para 45.971 lm).

Tabela 17 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS com variação da refletância – Situação 29

SITUAÇÃO 29 Comparativo – ALTURA 60° AZIMUTE 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
37.251	23.402 (62,82%)	10 PH 75%	26.652	22.654	0,6081
		10 PH 20%	10.905	9.269	0,2488

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 17, para uma mesma situação de sombreamento da abertura devido ao tipo de ECS (10 PH) e diferentes percentuais de refletância (75% e 20%), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH com 20% de refletância comparado com 10 PH com 75% de refletância, houve um aumento de 244,40% do fluxo luminoso admitido (de 9.269 lm para 22.654 lm), situação esta menor do que a de azimute 0 grau (com altura 60°).

Tabela 18 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS com variação da refletância – Situação 30

SITUAÇÃO 30 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE - 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
43.077	29.037 (67,40%)	10 PH 75%	27.718	23.560	0,5469
		10 PH 20%	11.206	9.525	0,2211

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 18, para uma mesma situação de sombreamento da abertura devido ao tipo de ECS (10 PH) e diferentes percentuais de refletância (75% e 20%), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PH com 20% de refletância comparado com 10 PH com 75% de refletância, houve um aumento de 247,34% do fluxo luminoso admitido (de 9.525 lm para 23.560 lm), situação esta menor do que a de azimuth 0 grau (com altura 60°).

Tabela 19 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS com variação da refletância – Situação 31

SITUAÇÃO 31 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
37.251	23.402 (62,82%)	5 PV 75%	17.243	14.656	0,3935
		5 PV 20%	6.662	5.663	0,1520

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 19, para uma mesma situação de sombreamento da abertura devido ao tipo de ECS (5 PV) e diferentes percentuais de refletância (75% e 20%), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 5 PV com 20% de refletância comparado com 5 PV com 75% de refletância, houve um aumento de 258,80% do fluxo luminoso admitido (de 5.663 lm para 14.656 lm).

Tabela 20 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para tipos de ECS com variação da refletância – Situação 32

SITUAÇÃO 32 Comparativo ALTURA 60° AZIMUTE 60°					
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos ECS	Φ Efeito ECS lm	Φ Adm lm	T_{dh}
37.251	23.402 (62,82%)	10 PV 75%	16.776	14.259	0,3827
		10 PV 20%	6.509	5.532	0,1485

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 20, para uma mesma situação de sombreamento da abertura devido ao tipo de ECS (10 PV) e diferentes percentuais de refletância (75% e 20%), existem variações quanto à admissão de luz natural.

Para 10 PV com 20% de refletância comparado com 10 PV com 75% de refletância, houve um aumento de 257,75% do fluxo luminoso admitido (de 5.532 lm para 14.259 lm).

Tabela 21 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) para 1 PH e 10 PH com variação de altura e de azimute, 75% refletância, 0,15 m espessura de parede e peitoril, altura 30° e 60°.

Altura 30°	Azimuthes		
	0°	60°	- 60°
1 PH	5.637	4.222	4.204
10 PH	35.145	15.375	15.880
Altura 60°	Azimuthes		
	0°	60°	- 60°
1 PH	7.631	6.519	6.619
10 PH	45.971	22.654	23.560

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 21, há uma grande variação na admissão de fluxo luminoso admitido para situações de mesmo ângulo de proteção solar e configurações físicas diferentes (1 PH e 10 PH).

Tabela 22 - Comparativo da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso Φ**) para 5 PV e 10 PV com altura 30° e 60° e azimute 60°: 5 PV e 10 PV

Altura 30°	Φ (lm)
5 PV	27.351
10 PV	29.275
Altura 60°	Φ (lm)
5 PV	14.656
10 PV	14.259

Análise dos resultados:

Conforme observado na Tabela 22, há uma pequena variação na admissão de fluxo luminoso admitido para situações de mesmo ângulo de proteção solar e configurações físicas diferentes (5 PV e 10 PV).

O efeito da reflexão da luz nas placas verticais é maior para o ângulo de altura de 30 graus, conforme esperado, resultando num aumento do fluxo luminoso admitido de aproximadamente 100%.

4.1.3 Análise dos Resultados do Fluxo Luminoso – Avaliação Conjunta da Influência da Geometria e da Refletância dos Elementos de Controle Solar

Com base nos resultados apresentados e analisados até aqui, identificaram-se as variações esperadas quanto ao fluxo luminoso admitido em função das variáveis de estudo (geometria e refletância) por meio do método desenvolvido, com a utilização do Programa APOLUX.

A mudança na geometria das placas com mesmo ângulo de proteção solar (1 placa horizontal e 10 placas horizontais) resultou em grande variação dos valores de fluxo luminoso admitido, em função da variação da reflexão da luz para o interior. Já a mudança de geometria de 5 PV para 10 PV resultou em pequena variação dos valores de fluxo luminoso admitido, em função da variação do bloqueio da luz solar direta e da reflexão da luz para o interior.

Com a alteração da refletância dos elementos de controle solar e do peitoril e espessura de paredes, também houveram significativas modificações nos valores de fluxo luminoso admitido. Assim, na parte de identificação comparativa do fluxo luminoso admitido entre uma situação de referência (sem ECS) e outras de análise, o método desenvolvido mostrou resultados adequados.

4.1.4 Análise dos Resultados de Luminância Equivalente da Janela

Os resultados de luminância equivalente da janela foram agrupados de acordo com a similaridade do comportamento radiante da abertura, com seu respectivo elemento de controle solar.

São adiante descritos na seguinte seqüência de agrupamento de similaridade:

I	Situação 1 de 1 PH alt 30° e az 0° Situação 7 de 1 PH alt 60° e az 0°
II	Situação 2 de 1 PH alt 30° e az 60° Situação 8 de 1 PH alt 60° e az 60°
III	Situação 3 de 1 PH alt 30° e az -60° Situação 9 de 1 PH alt 60° e az -60°
IV	Situação 4 de 10 PH alt 30° e az 0° Situação 10 de 10 PH alt 60° e az 0° Situação 17 de 10 PH alt 60° e az 0°
V	Situação 5 de 10 PH alt 30° e az 60° Situação 11 de 10 PH alt 60° e az 60° Situação 18 de 1 PH alt 60° e az 60°
VI	Situação 6 de 10 PH alt 30° e az -60° Situação 12 de 10 PH alt 60° e az -60° Situação 19 de 10 PH alt 60° e az -60°
VII	Situação 13 de 5 PV alt 30° e az 60° Situação 14 de 10 PV alt 30° e az 60°
VIII	Situação 15 de 5 PV alt 60° e az 60° Situação 16 de 10 PV alt 60° e az 60°
IX	Situação 20 de 5 PV alt 60° e az 60° com 20% de refletância Situação 21 de 10 PV alt 60° e az 60° com 20% de refletância

As situações de similaridade de resultados de luminância equivalente da janela são adiante apresentadas na forma de imagens do tipo *dxr* (figuras 55 a 75) e imagens do tipo 2 D e 3 D (gráficos 1 a 21), com as respectivas análises, de acordo com o agrupamento realizado.

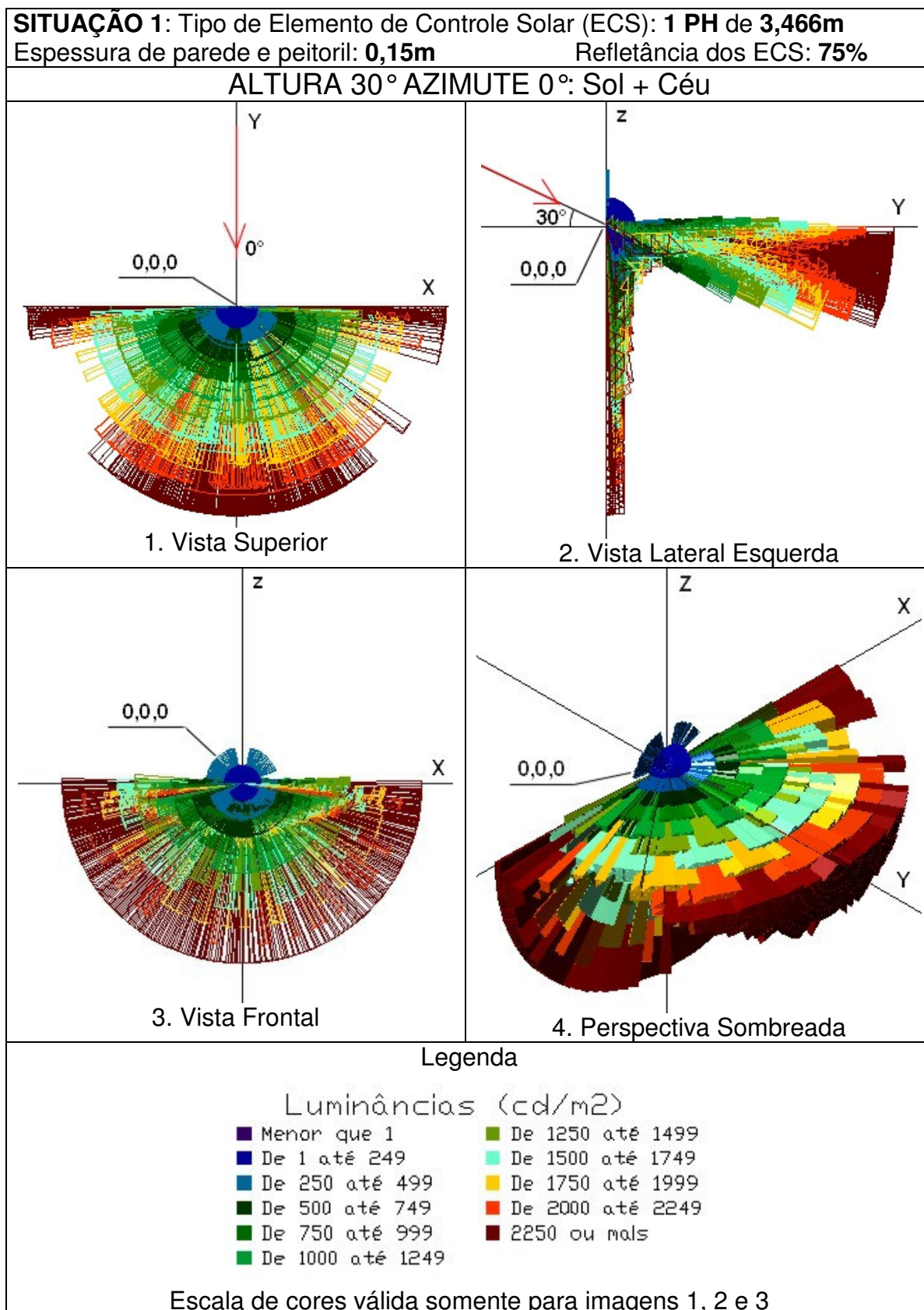


Figura 55 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 1

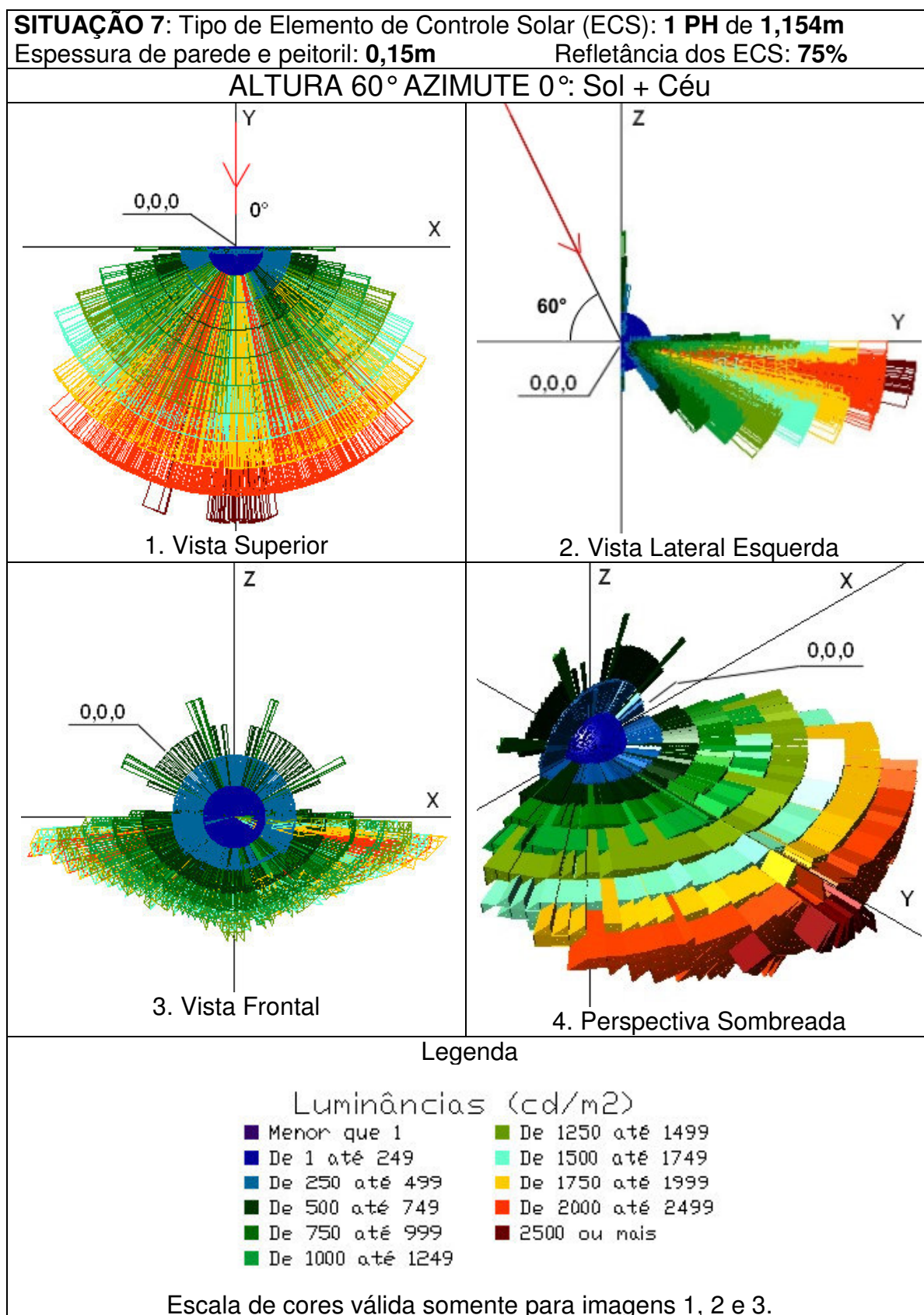


Figura 56 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 7

I- Análise dos Resultados das Situações 1 e 7:

Nas duas situações de 1 Placa Horizontal sobre a janela, existe somente a admissão de luz difusa, com bloqueio da luz solar direta.

A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 0° está claramente identificada e deve-se à fonte de luz difusa existente, com maiores luminâncias do céu proveniente da posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura (30° e 60°) e azimute de estudo (0°).

Conforme identificado na vista lateral de cada figura do tipo *dx*f representativa dessas situações similares, para a situação 1 a recepção da luz difusa provém de uma menor altura solar (30°) e não se direciona tanto para a parte inferior, como ocorre na situação 7 de maior altura solar (60°), onde a luz direciona-se mais para a parte inferior. Identifica-se também nessas vistas que a distorção devido ao efeito cosseno é mais significativa na situação 1 de menor altura solar.

Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição simétrica para os lados direito e esquerdo. Na situação de maior altura solar (60°), a luz direciona-se mais para a parte inferior e com distribuição mais homogênea, sem tanta concentração de valores de luminância equivalente da janela como no caso da situação 1 de altura solar menor (30°).

No gráfico adiante da situação 1 também pode ser melhor observada a distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, majoritariamente junto a parte inferior e para os dois lados.

Como de se esperar, situações similares de configuração física de elementos de controle solar – ECS apresentaram comportamento radiante também similar, com as alterações antes citadas devido a diferença de recepção da luz difusa em duas alturas.

SITUAÇÃO 1: 1 PH de 3,466mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como uma marquise.

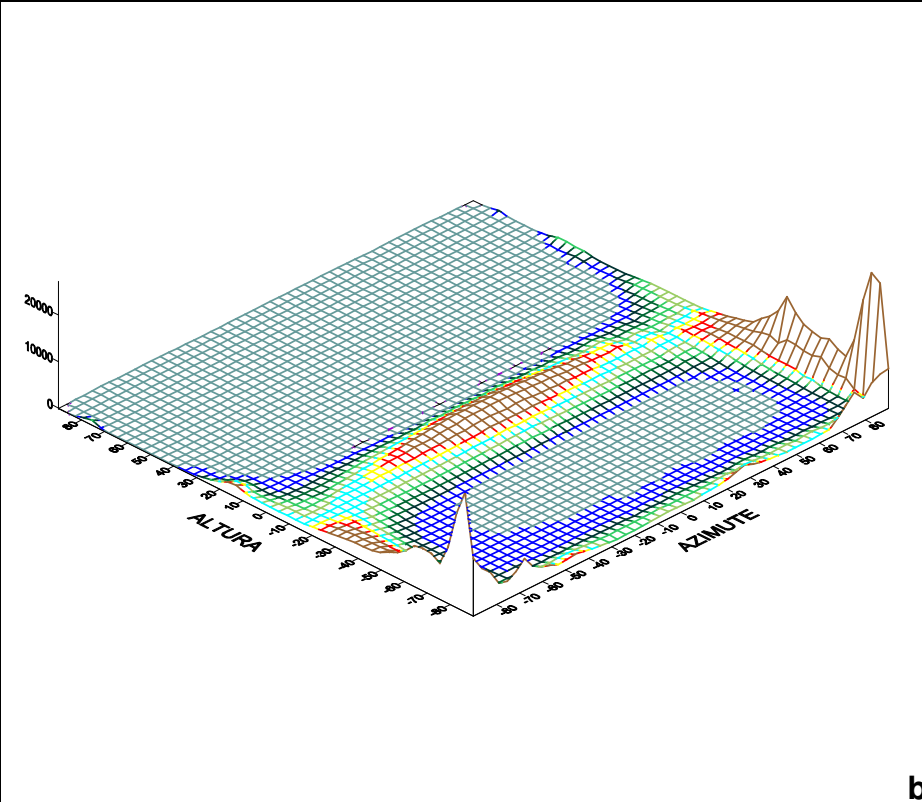
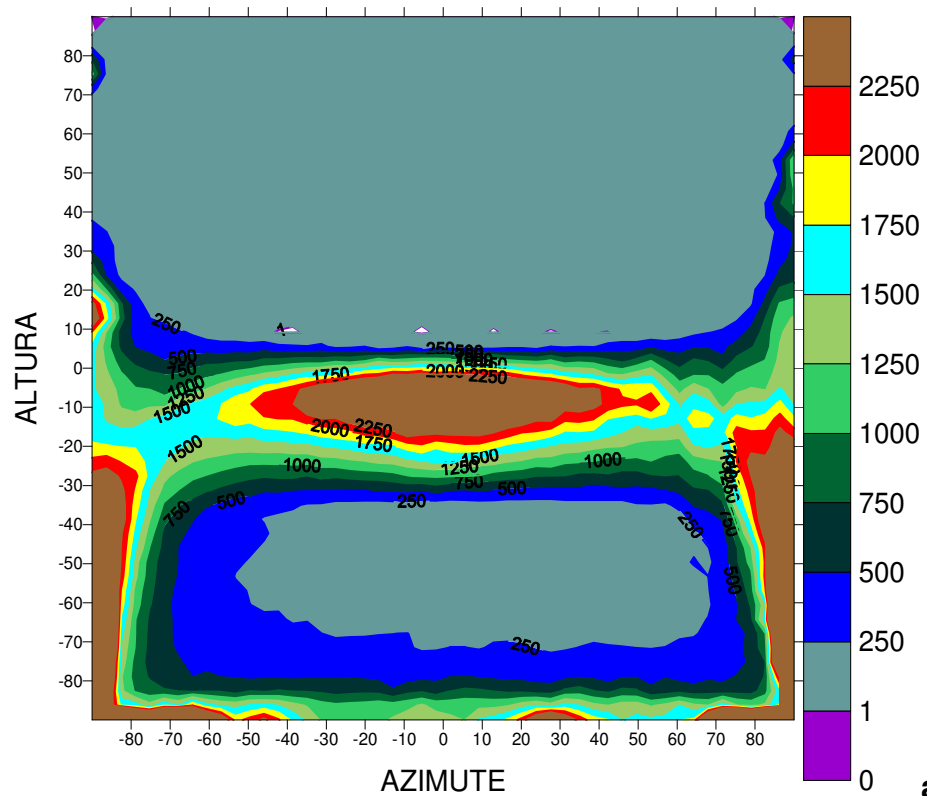
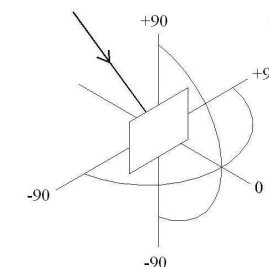
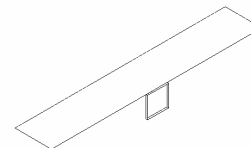
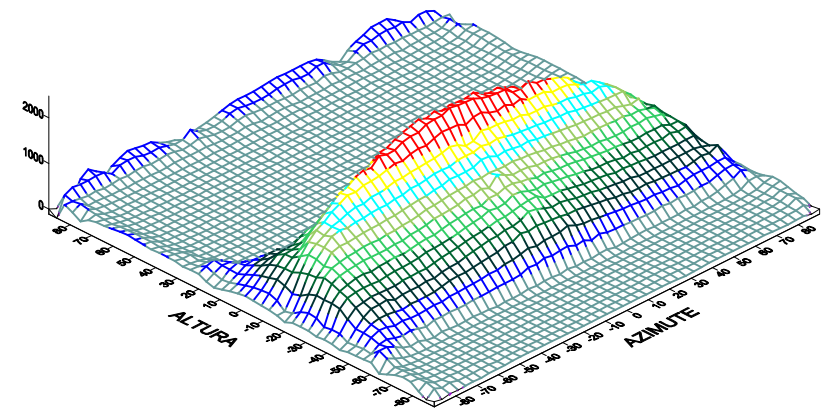
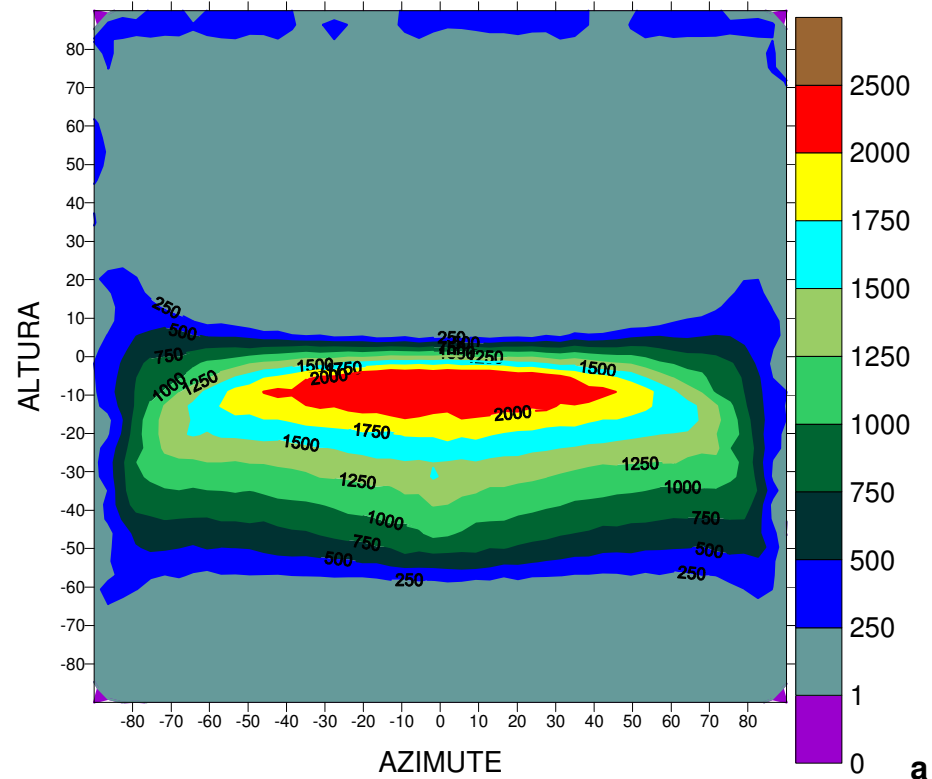
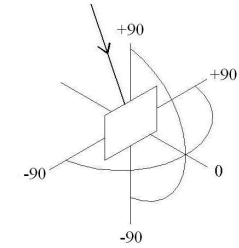
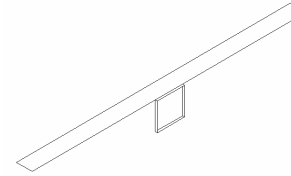


Gráfico 1– Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 1 com altura 30° e azimute 0°

SITUAÇÃO 7: 1 PH de 1,15mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como um marquise

**Gráfico 2 – Luminância equivalente da janela (Le_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 7 com altura 60° e azimute 0°**

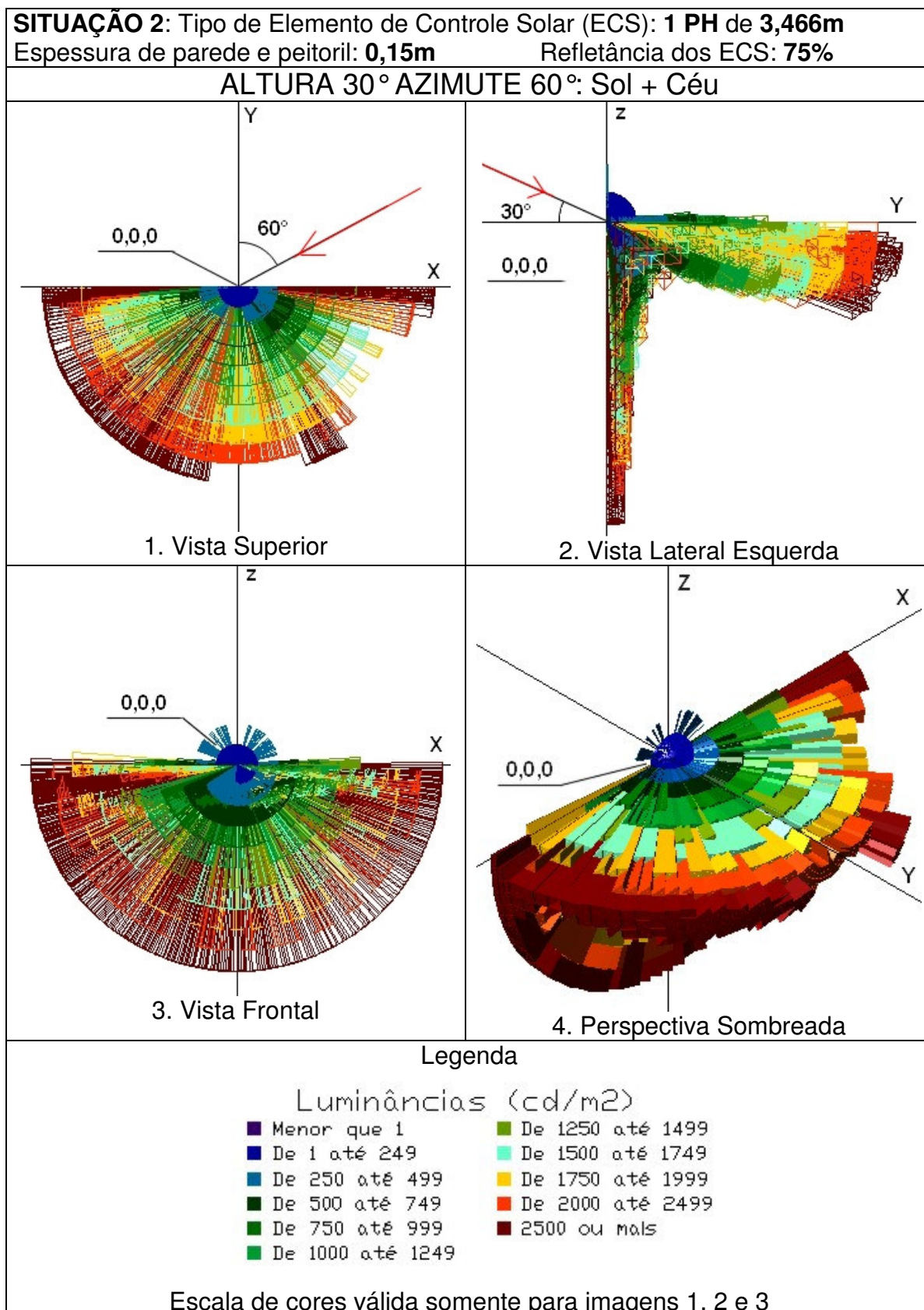


Figura 57 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 2

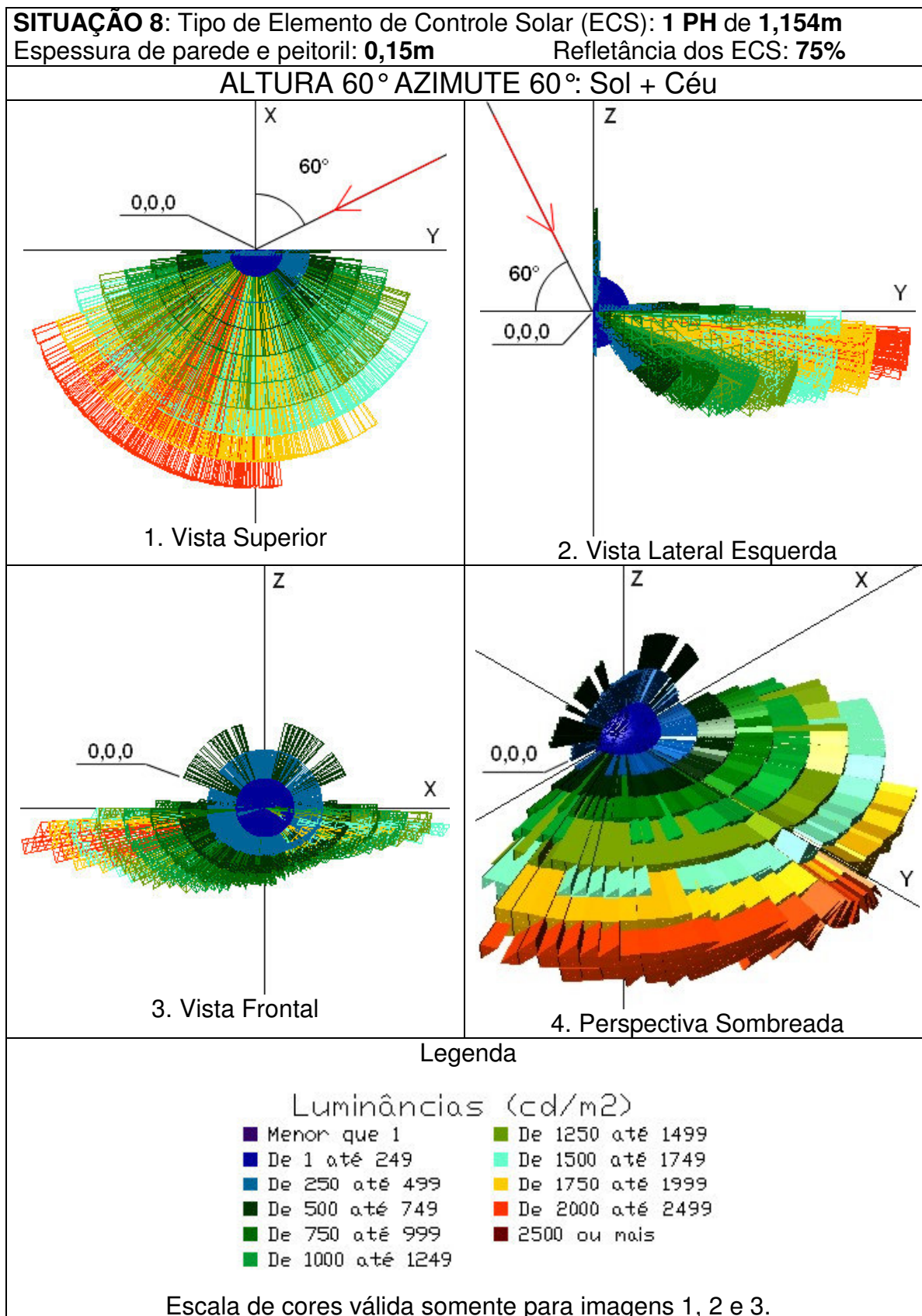


Figura 58 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 8

II- Análise dos Resultados das Situações 2 e 8 :

Nas duas situações de 1 Placa Horizontal sobre a janela, existe somente a admissão de luz difusa, com bloqueio da luz solar direta.

A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 60° está claramente identificada e deve-se à fonte de luz difusa existente, com maiores luminâncias do céu proveniente da posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura (30° e 60°) e azimute de estudo (60°).

Conforme identificado na vista lateral de cada figura do tipo *dx*f representativa dessas situações similares, para a situação 2 a recepção da luz difusa provém de uma menor altura solar (30°) e não se direciona tanto para a parte inferior, como ocorre na situação 8 de maior altura solar (60°), onde a luz direciona-se mais para a parte inferior. Identifica-se também nessas vistas que a distorção devido ao efeito cosseno é mais significativa na situação 2 de menor altura solar.

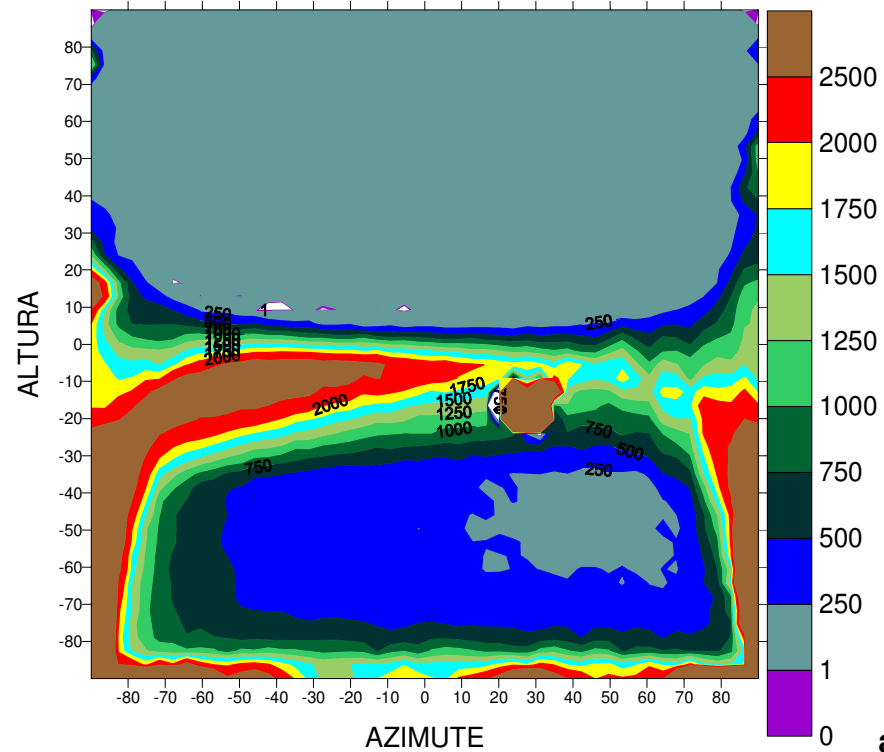
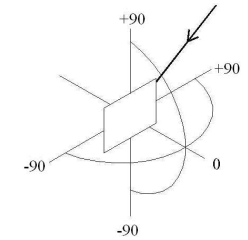
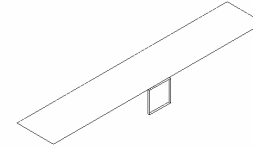
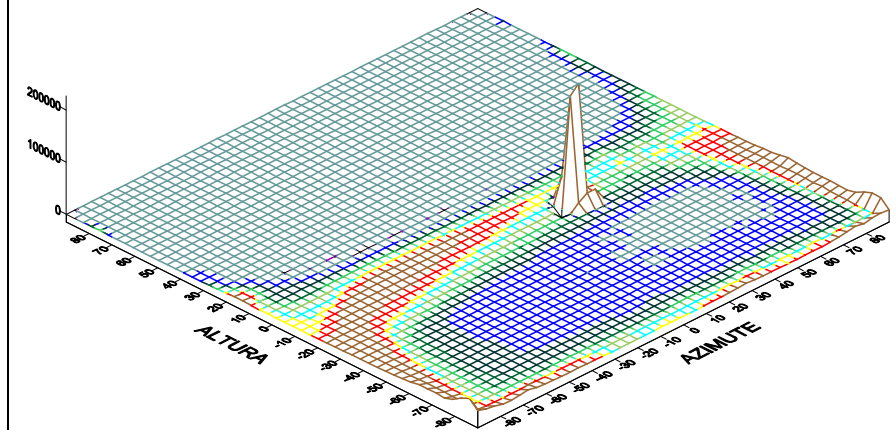
Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o lado esquerdo, oposto ao da incidência de luz. Na situação de maior altura solar (60°), a luz direciona-se mais para a parte inferior e com distribuição mais homogênea, sem tanta concentração de valores de luminância equivalente da janela como no caso da situação 2 de altura solar menor (30°).

No gráfico adiante da situação 2 também pode ser melhor observada a distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, majoritariamente junto a parte inferior e para os dois lados.

Como de se esperar, situações similares de configuração física de elementos de controle solar – ECS apresentaram comportamento radiante também similar, com as alterações antes citadas devido a diferença de recepção da luz difusa em duas alturas.

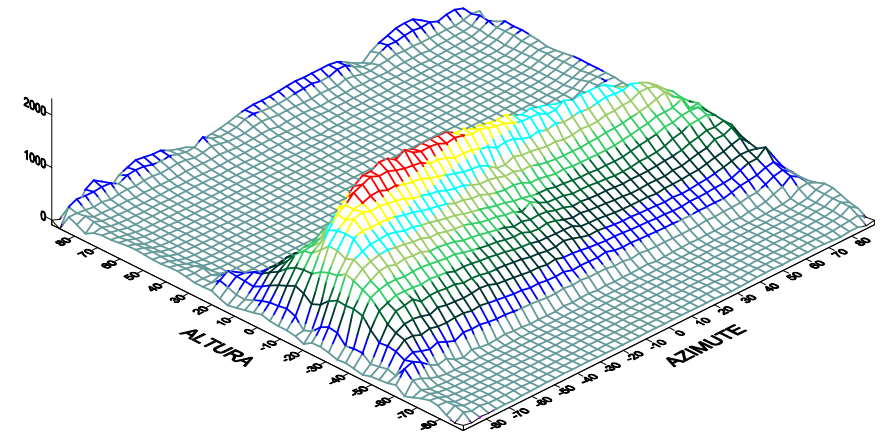
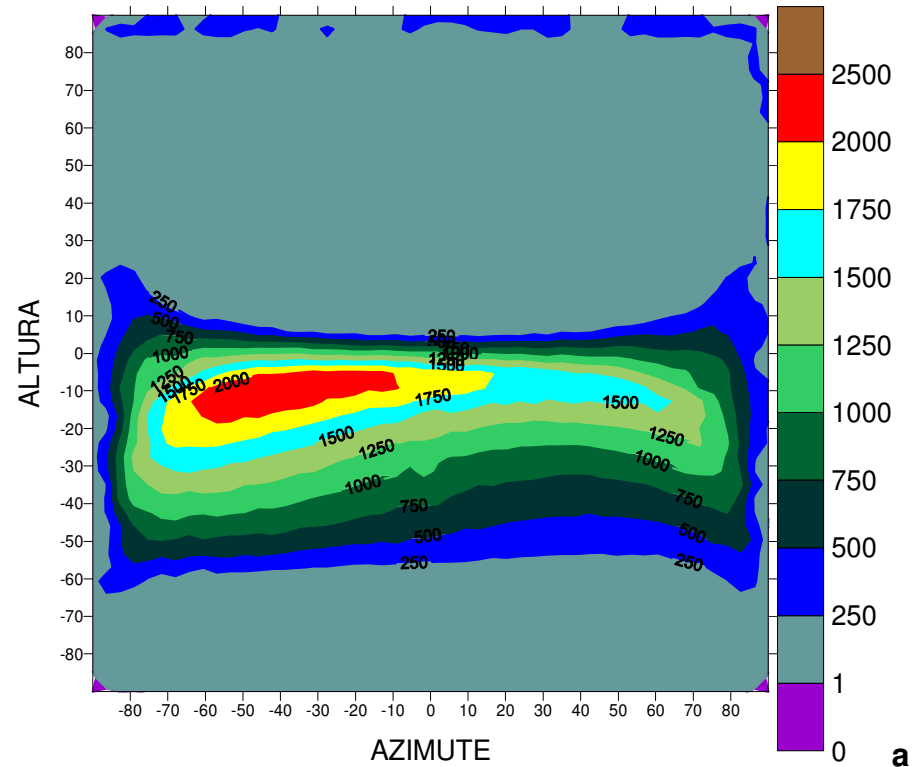
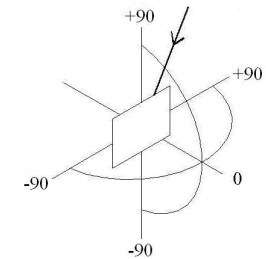
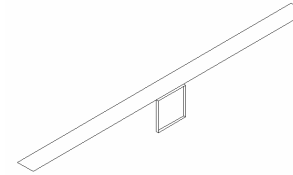
SITUAÇÃO 2: 1 PH de 3,466mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como uma marquise

**a****b****Gráfico 3–** Luminância equivalente da janela ($\text{Lequiv} - \text{cd/m}^2$) em imagem 3D para situação 2 com altura 30° e azimute 60°

SITUAÇÃO 8: 1 PH de 1,154mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como um marquise

**Gráfico 4–** Luminância equivalente da janela (Le_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 8 com altura 60° e azimute 60°

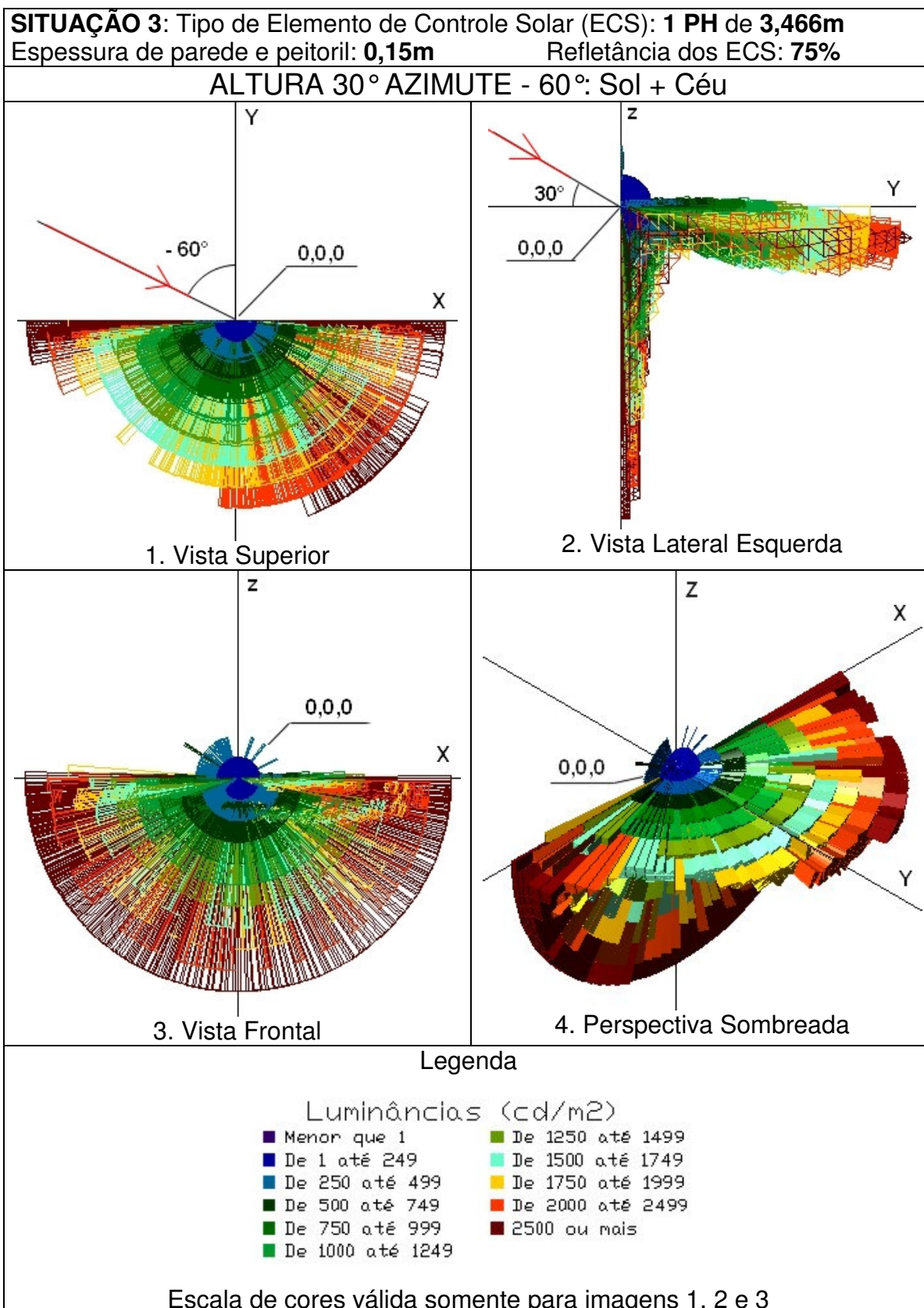


Figura 59 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 3

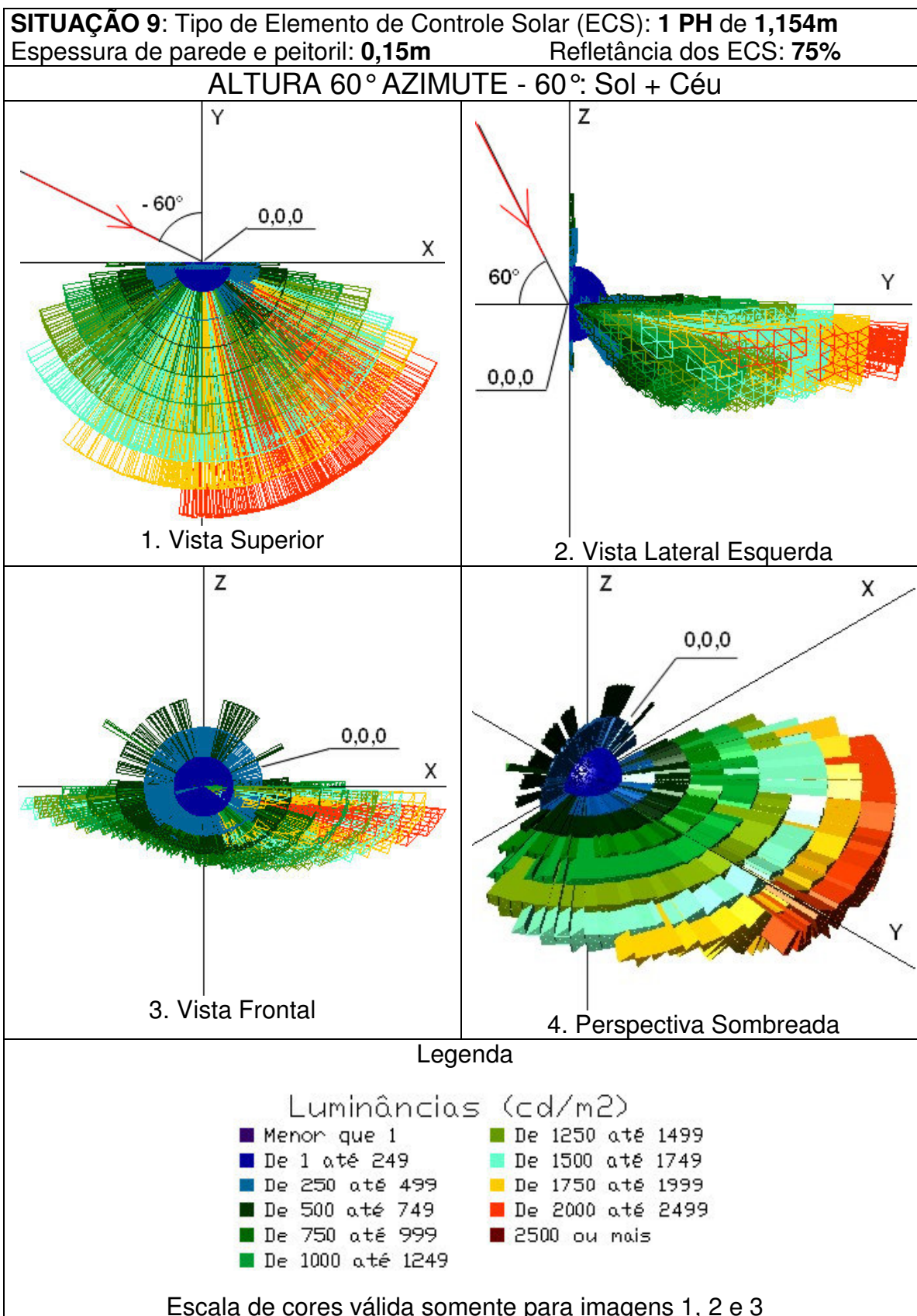


Figura 60 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 9

III- Análise dos Resultados das Situações 3 e 9 :

Nas duas situações de 1 Placa Horizontal sobre a janela, existe somente a admissão de luz difusa, com bloqueio da luz solar direta.

A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute -60° está claramente identificada e deve-se à fonte de luz difusa existente, com maiores luminâncias do céu proveniente da posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura (30° e 60°) e azimute de estudo (-60°).

Conforme identificado na vista lateral de cada figura do tipo *dx*f representativa dessas situações similares, para a situação 3 a recepção da luz difusa provém de uma menor altura solar (30°) e não se direciona tanto para a parte inferior, como ocorre na situação 9 de maior altura solar (60°), onde a luz direciona-se mais para a parte inferior. Identifica-se também nessas vistas que a distorção devido ao efeito cosseno é mais significativa na situação 3 de menor altura solar.

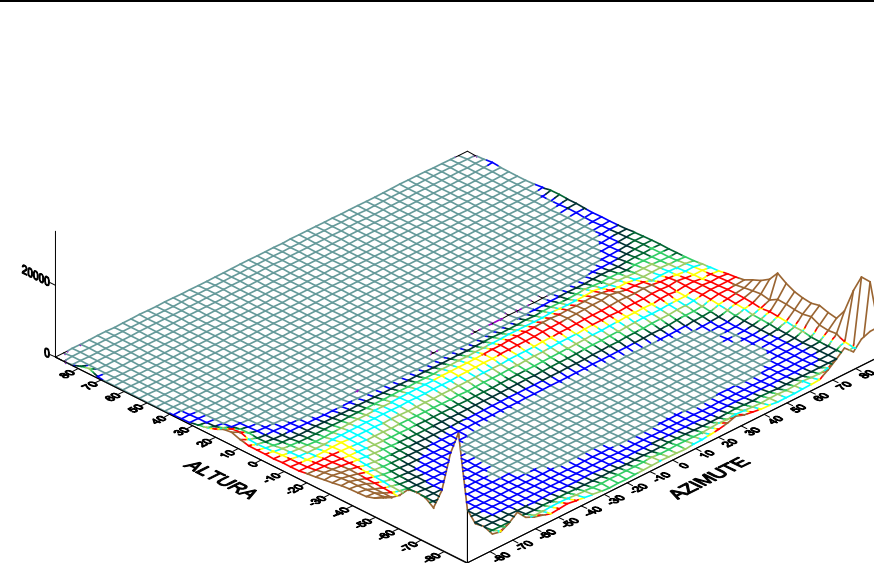
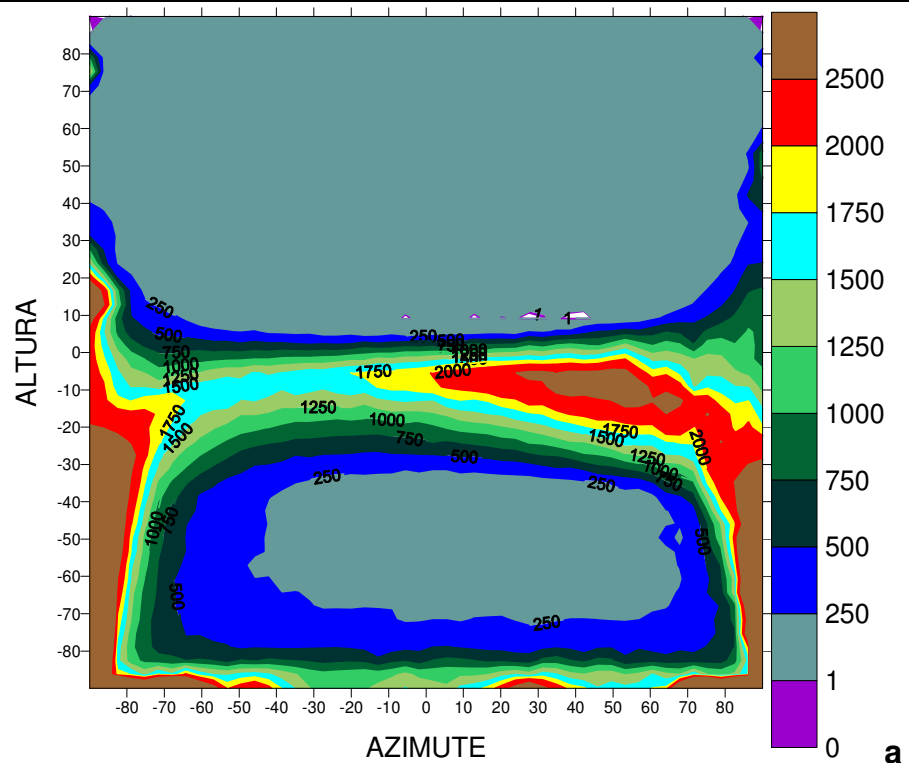
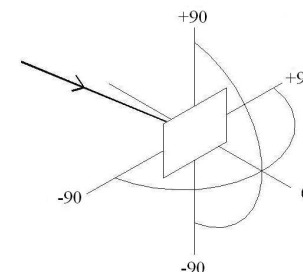
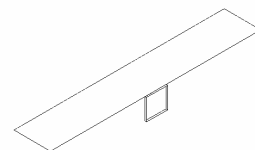
Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o lado direito oposto ao da incidência de luz (azimute -60°). Na situação de maior altura solar (situação 9 com 60°), a luz direciona-se mais para a parte inferior e com distribuição mais homogênea, sem tanta concentração de valores de luminância equivalente da janela como no caso da situação 3 de altura solar menor (30°).

No gráfico adiante da situação 3 também pode ser melhor observada a distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, majoritariamente junto a parte inferior e para os dois lados.

Como de se esperar, situações similares de configuração física de elementos de controle solar – ECS apresentaram comportamento radiante também similar, com as alterações antes citadas devido a diferença de recepção da luz difusa em duas alturas.

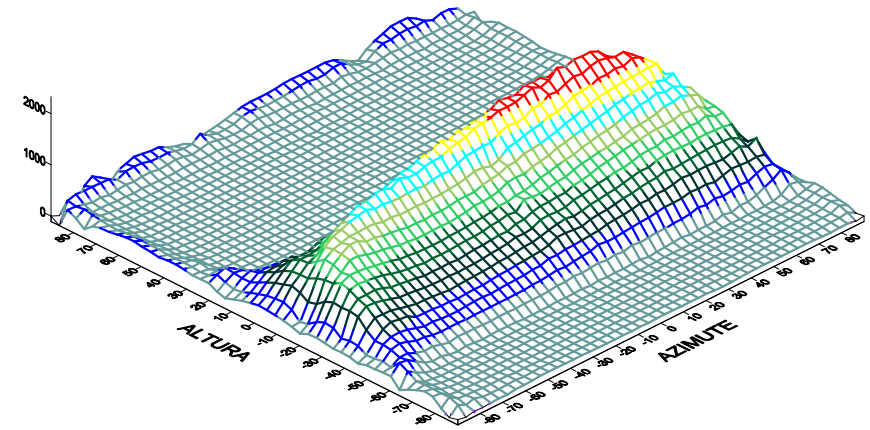
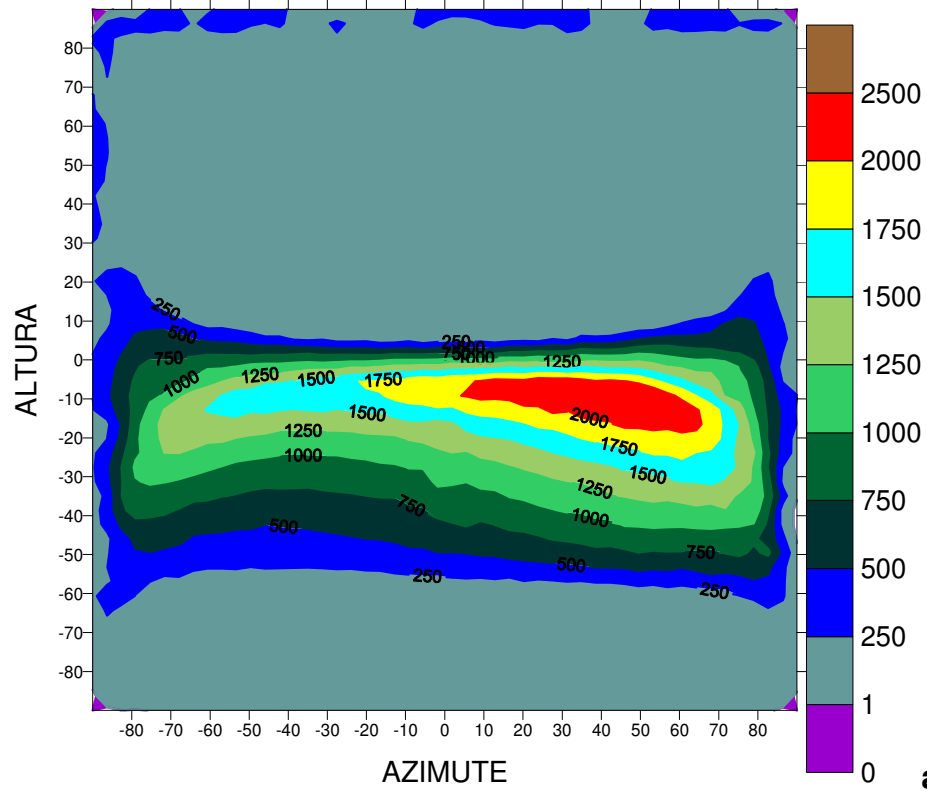
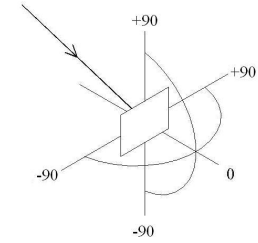
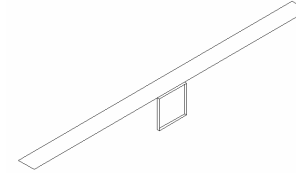
SITUAÇÃO 3: 1 PH de 3,466mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como uma marquise

**Gráfico 5–** Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 3 com altura 30° e azimute -60°

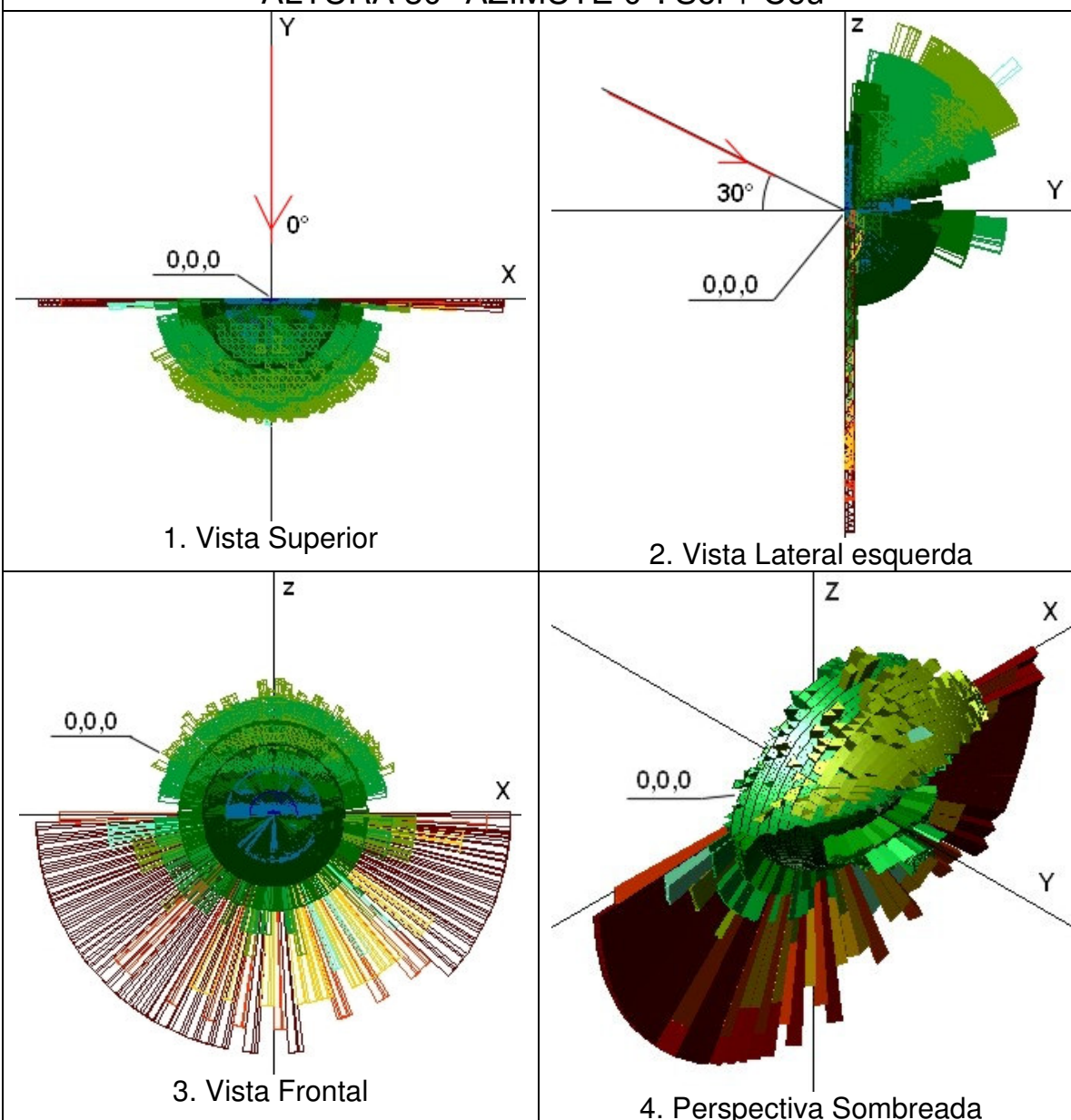
SITUAÇÃO 9: 1 PH de 1,154mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como um marquise

**Gráfico 6–** Luminância equivalente da janela ($\text{Lequiv} - \text{cd/m}^2$) em imagem 3D para situação 9 com alt. 60° e az. -60°

SITUAÇÃO 4: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,346m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 0°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

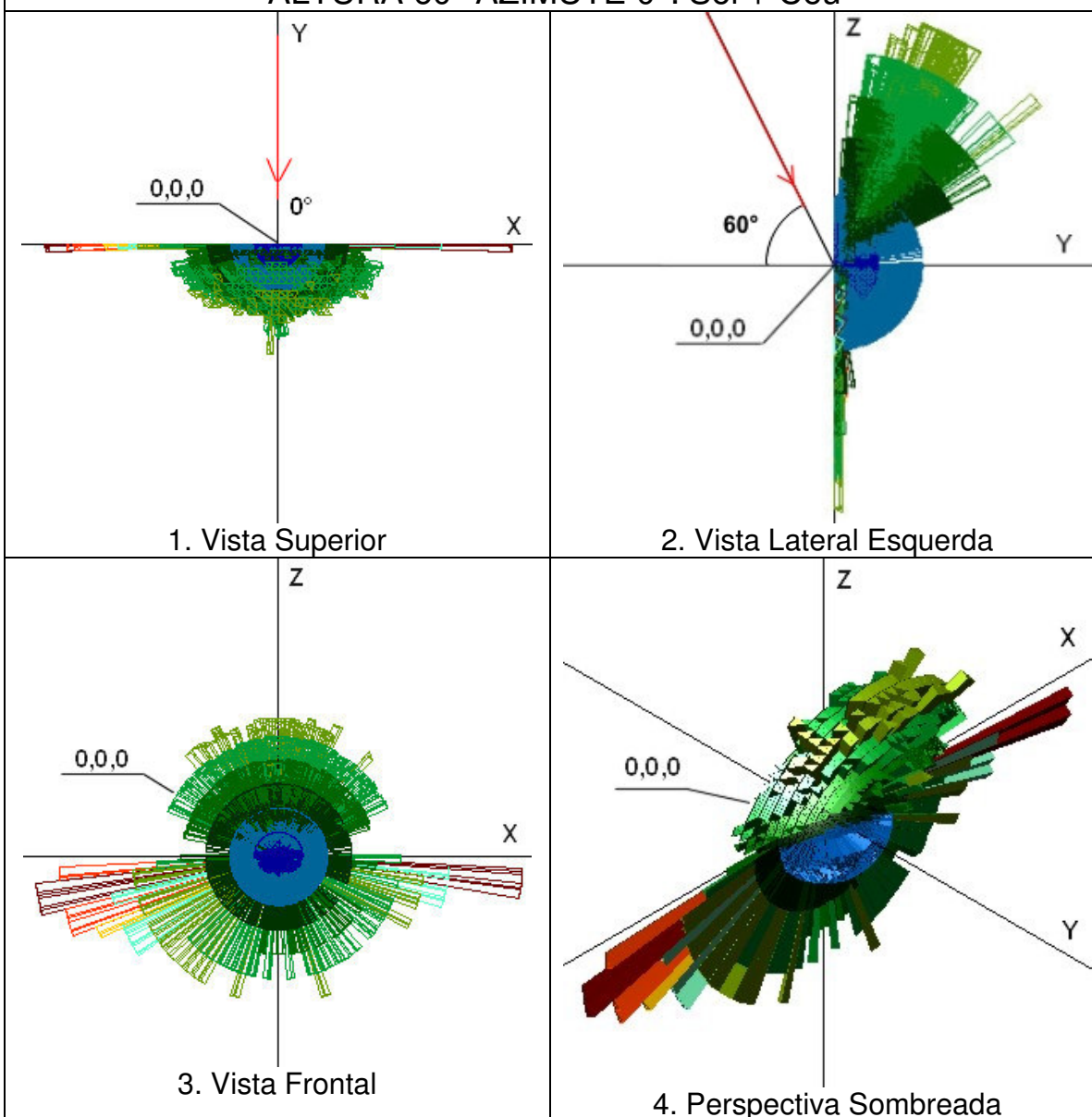
Menor que 1	De 5000 até 5999
De 1 até 999	De 6000 até 6999
De 1000 até 1999	De 7000 até 7999
De 2000 até 2999	De 8000 até 8534
De 3000 até 3999	8535 ou mais
De 4000 até 4999	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3.

Figura 61 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 4

SITUAÇÃO 10: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

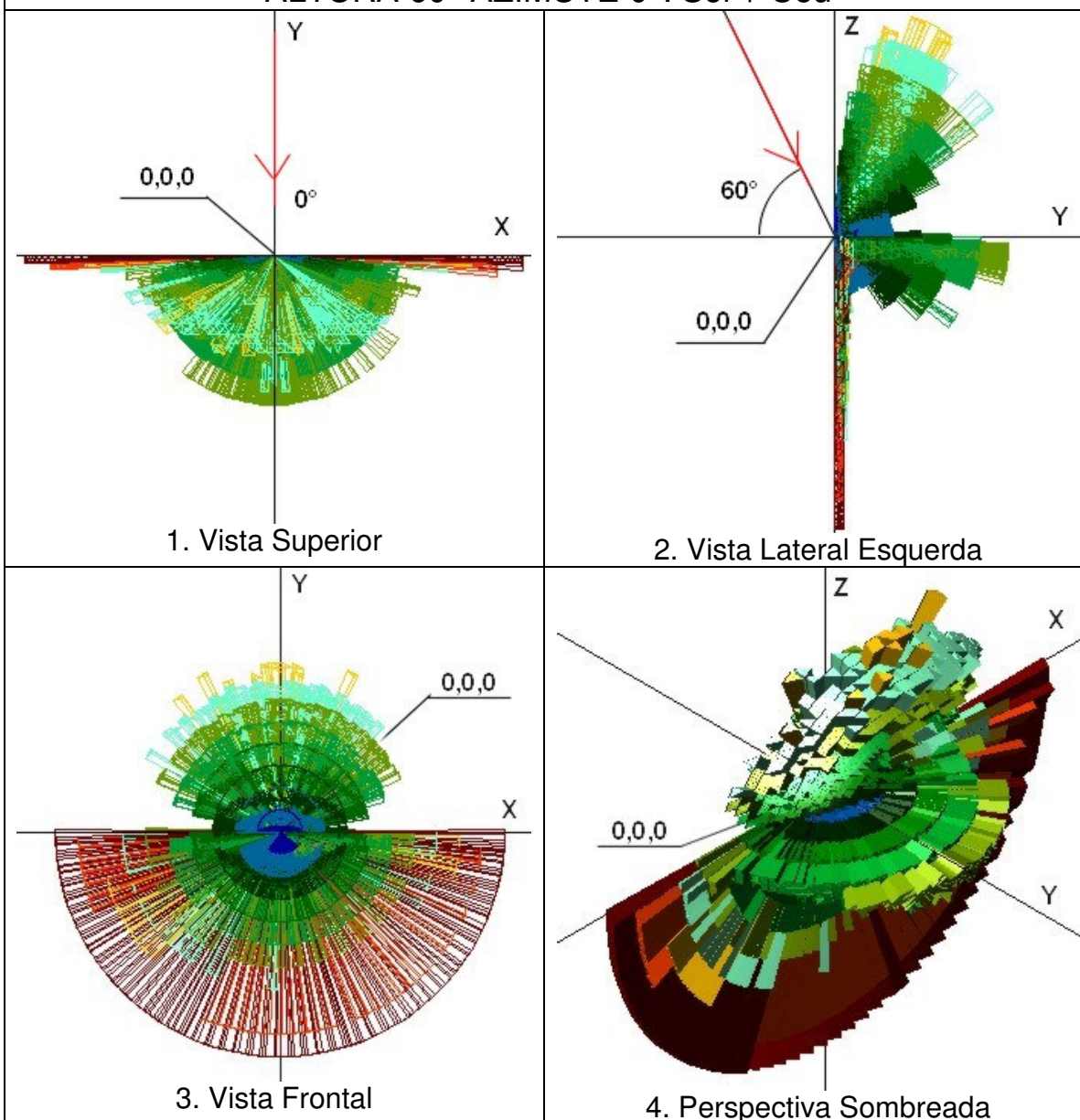
■ Menor que 1	■ De 12500 até 14999
■ De 1 até 2499	■ De 15000 até 17499
■ De 2500 até 4999	■ De 17500 até 19999
■ De 5000 até 7499	■ De 20000 até 21889
■ De 7500 até 9999	■ 21890 ou mais
■ De 10000 até 12499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 62 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 10

SITUAÇÃO 17: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

- | | |
|--------------------|--------------------|
| ■ Menor que 1 | ■ De 2500 até 2999 |
| ■ De 1 até 499 | ■ De 3000 até 3499 |
| ■ De 500 até 999 | ■ De 3500 até 3999 |
| ■ De 1000 até 1499 | ■ De 4000 até 5692 |
| ■ De 1500 até 1999 | ■ 5693 ou mais |
| ■ De 2000 até 2499 | |

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 63 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 17

IV- Análise dos Resultados das Situações 4, 10 e 17 :

Nessas três situações, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol perpendiculares a abertura, sendo admitida a luz difusa do céu e a luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e 20%.

A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 0° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida dominante nas placas horizontais de refletância 75% para as situações 4 e 10 e 20% para situação 17.

Conforme identificado na vista lateral de cada figura do tipo *dx*f representativa dessas situações similares, para a situação 4 a admissão da luz refletida devido a menor altura solar (30°) resulta em valores menores do que na situação 10 de maior altura solar (60°), onde a luz direciona-se mais para a parte superior. Na situação 17 (análoga a situação 10) de refletância reduzida nas placas horizontais (20%), o efeito da admissão da luz refletida também é identificado, mas numa proporção menor. Identifica-se também nessas vistas que a distorção devido ao efeito cosseno é mais significativa na situação 4 de menor altura solar.

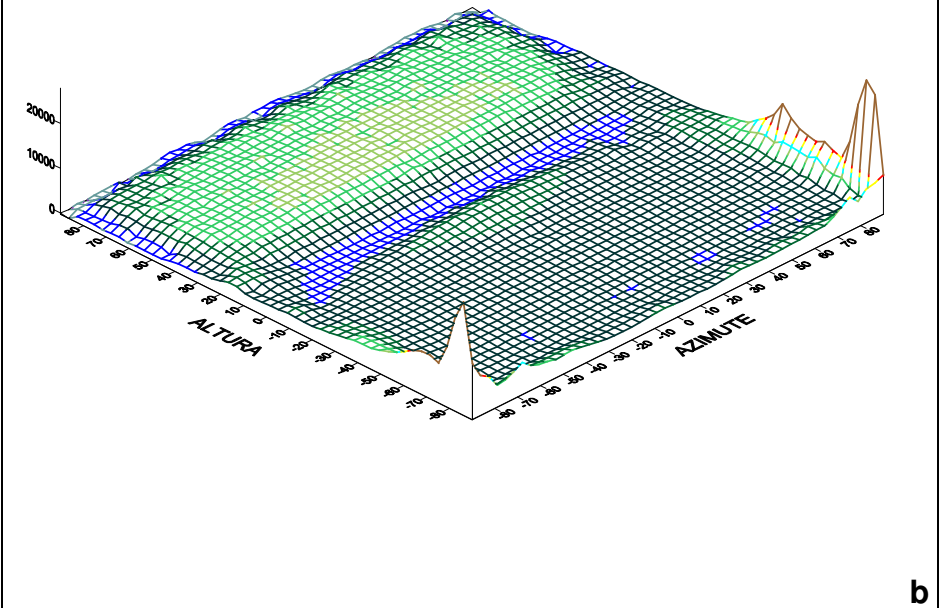
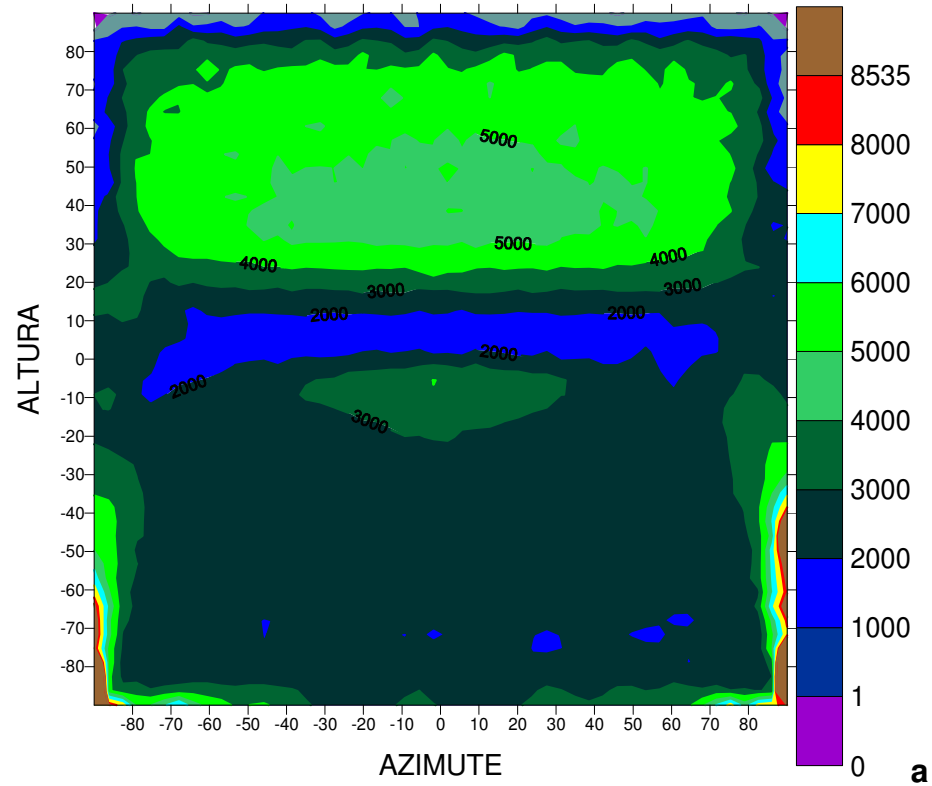
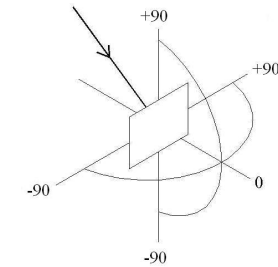
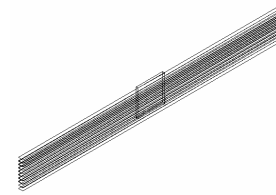
Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição simétrica para os lados direito e esquerdo. Na situação de maior altura solar (situação 10 com 60°), a luz direciona-se mais para a parte superior e com distribuição mais homogênea, sem tanta concentração de valores de luminância equivalente da janela como no caso da situação 4 de altura solar menor (30°). A distribuição mais homogênea dos valores de luminância equivalente da janela também é identificado na situação 17 com altura solar 60° , com menor refletância das placas horizontais (20%).

No gráfico adiante das situações 4 e 10 também pode ser melhor observada a distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, majoritariamente junto a parte inferior e para os dois lados.

Como de se esperar, situações similares de configuração física de elementos de controle solar – ECS apresentaram comportamento radiante também similar, com as alterações antes citadas devido a diferença de recepção da luz refletida em duas alturas e a redução da refletância das placas.

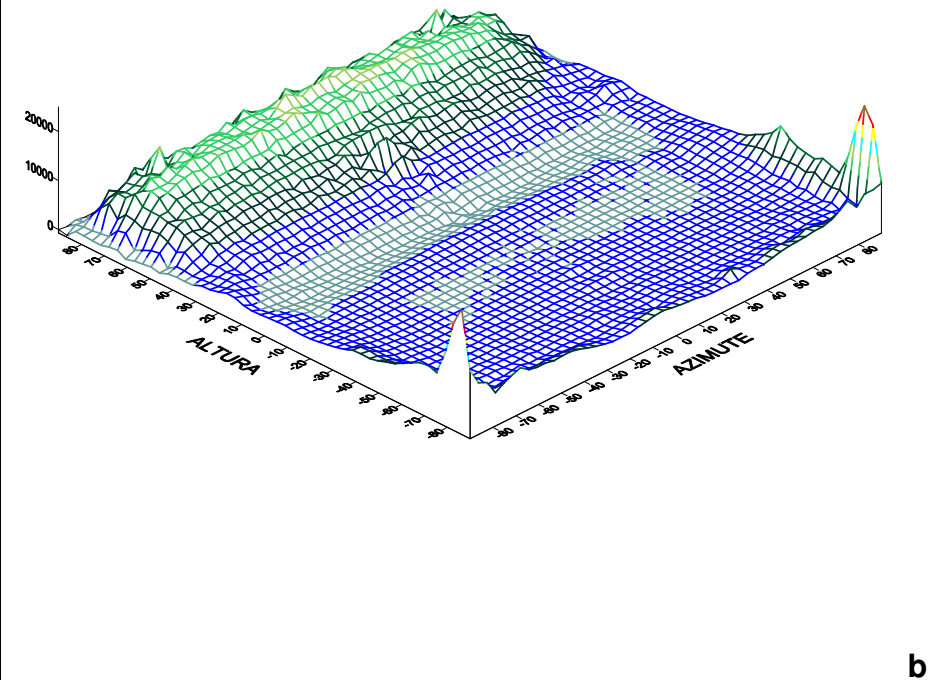
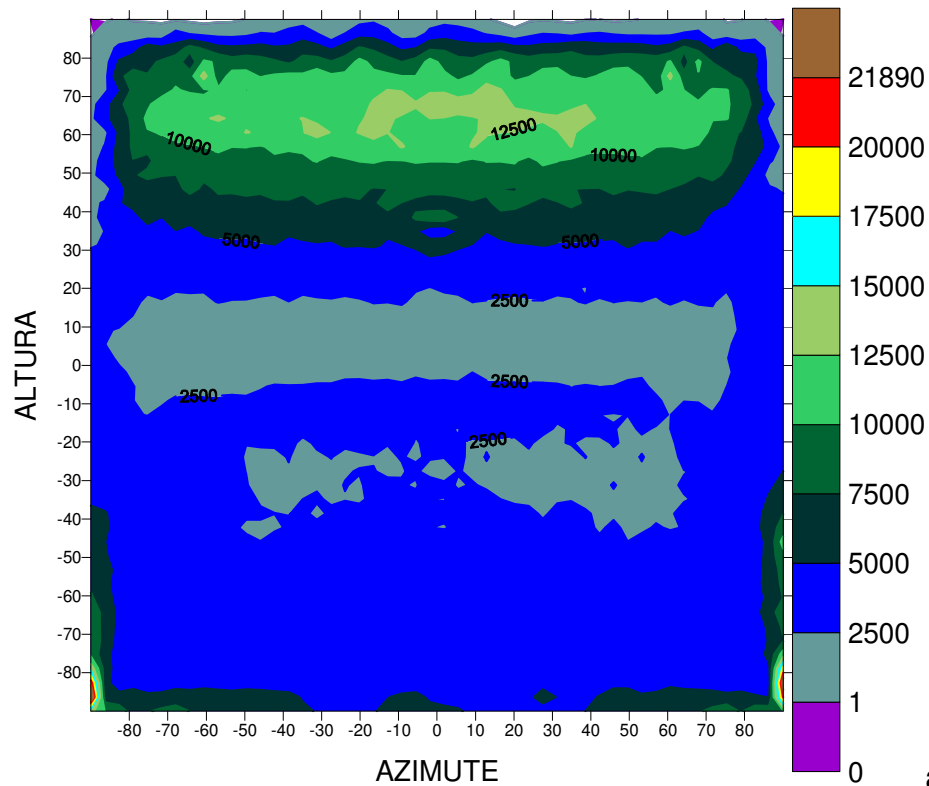
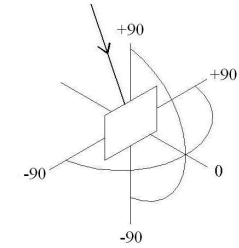
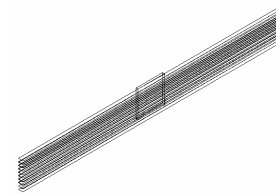
SITUAÇÃO 4: 10 PH de 0,346mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 7** – Luminância equivalente da janela ($Le_{equiv} - cd/m^2$) para situação 4 com altura 30° e azimuth 0°

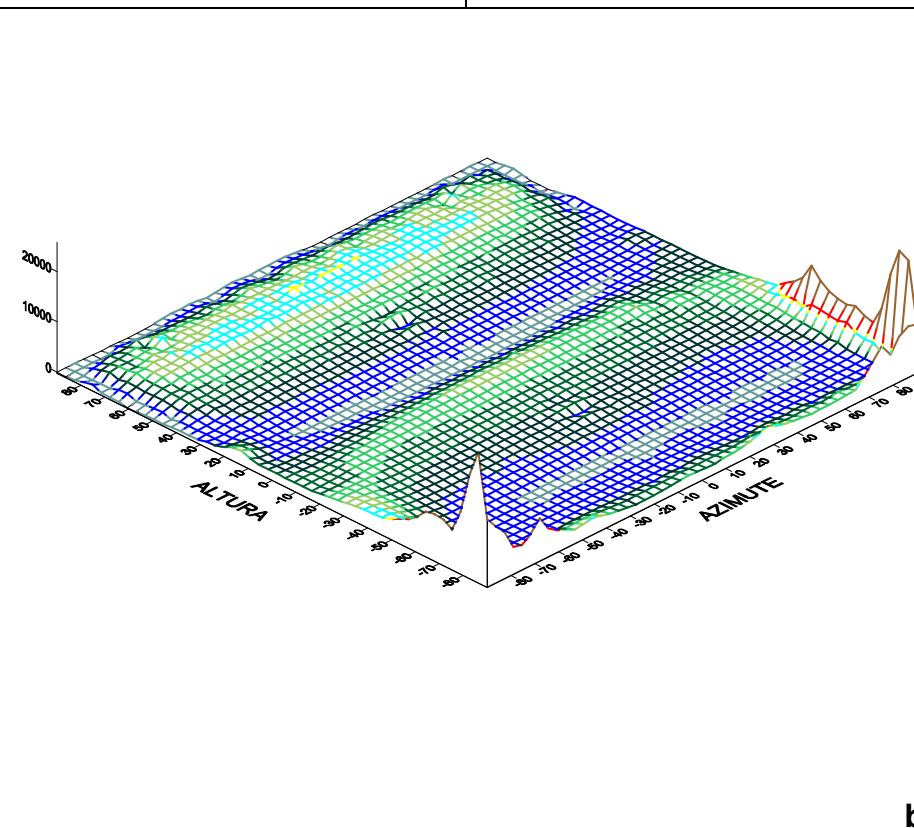
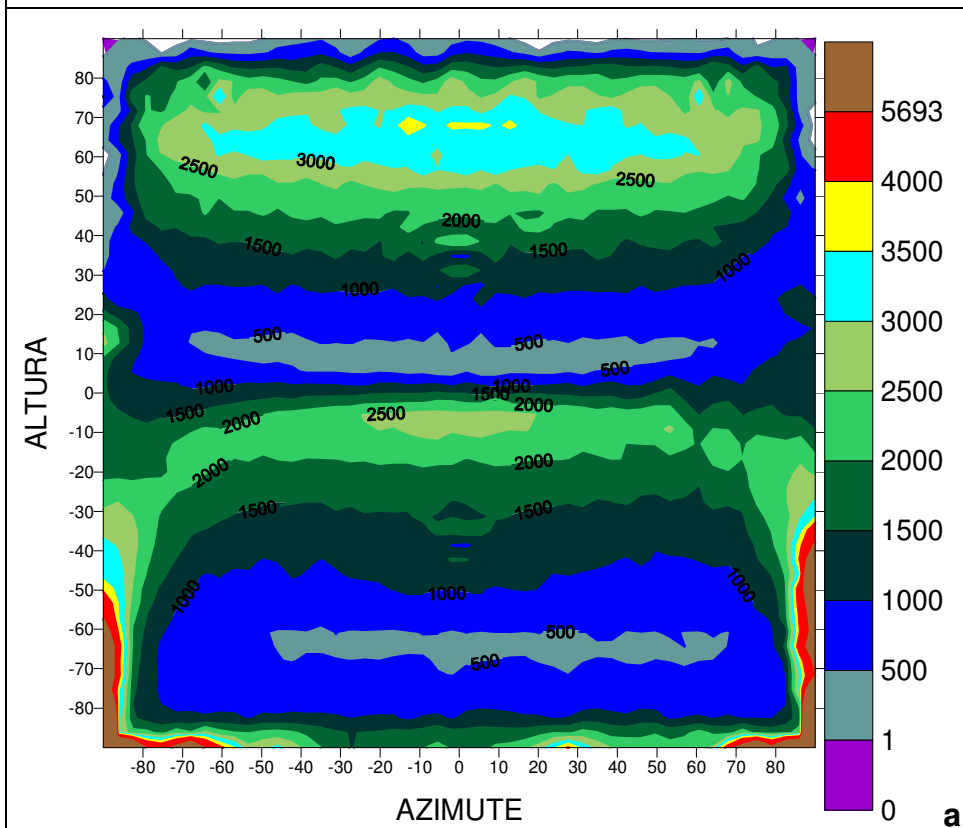
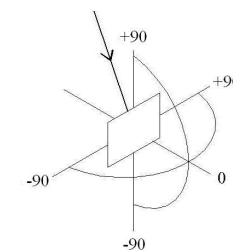
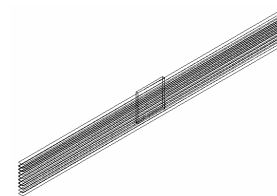
SITUAÇÃO 10: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 8–** Luminância equivalente da janela ($\text{Lequiv} - \text{cd/m}^2$) em imagem 3D para situação 10 com altura 60° e azimuth 0°

SITUAÇÃO 17: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%****ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 9** – Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 17 com altura 60° e azimuth 0°

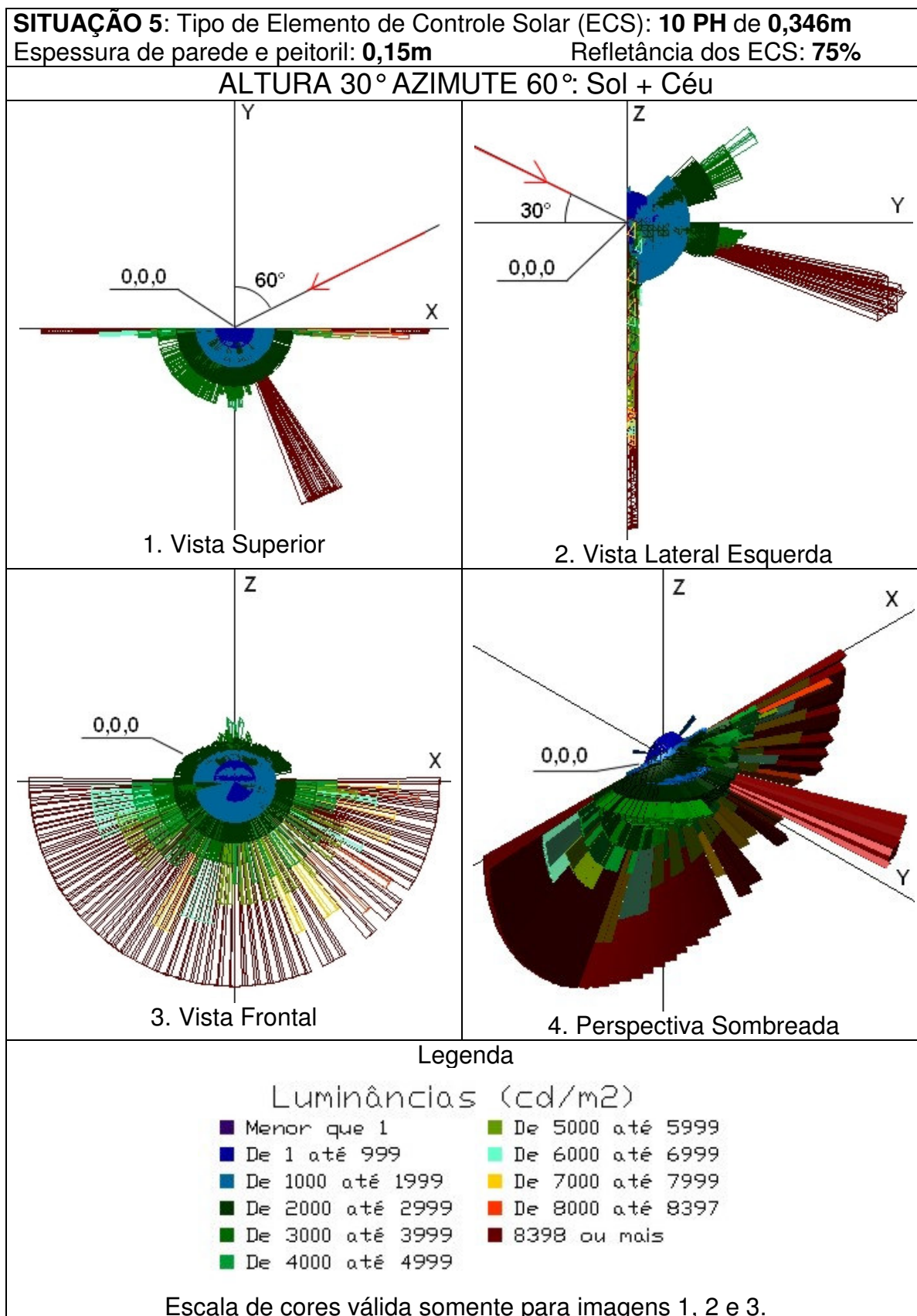
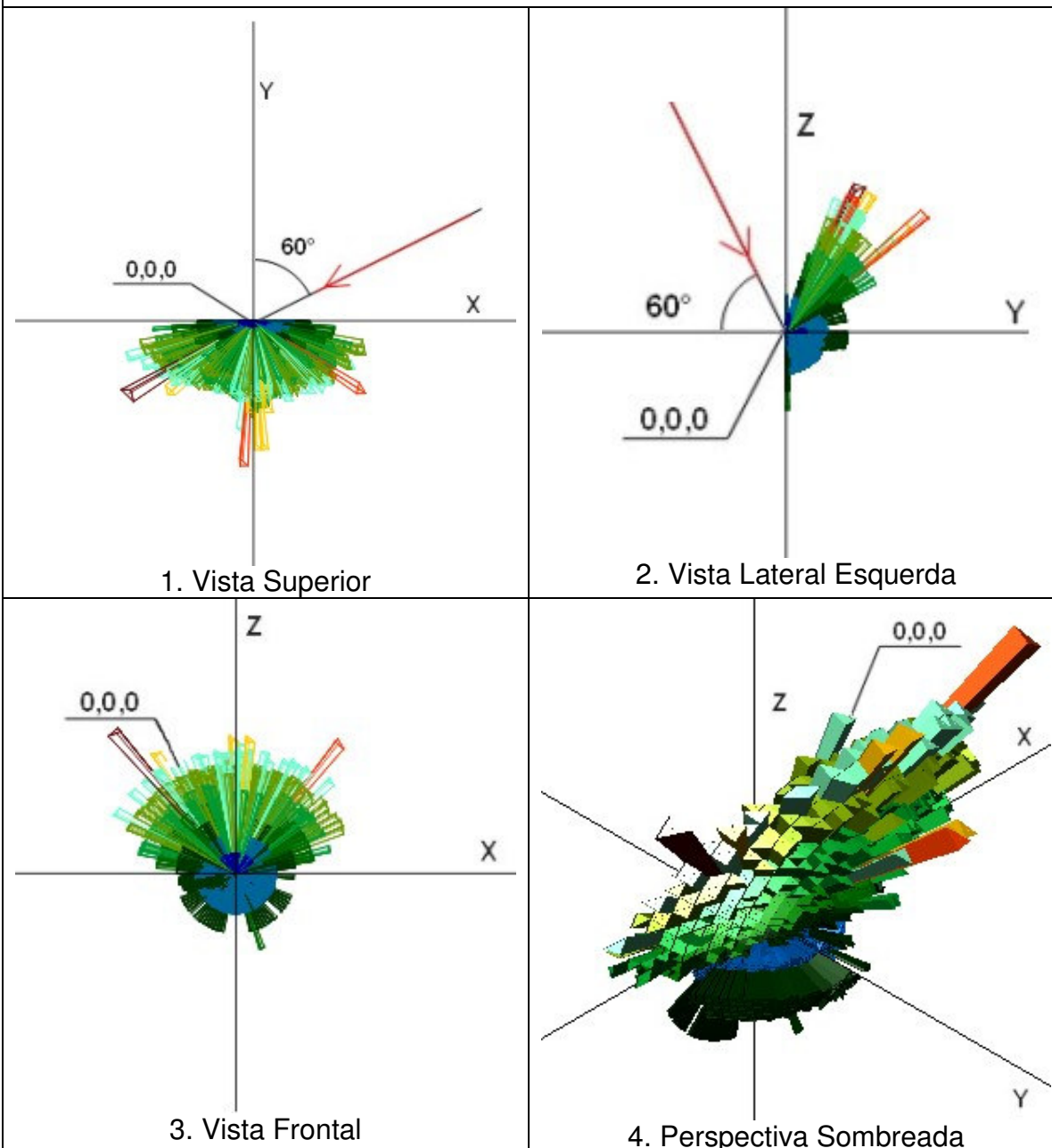


Figura 64 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 5

SITUAÇÃO 11: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

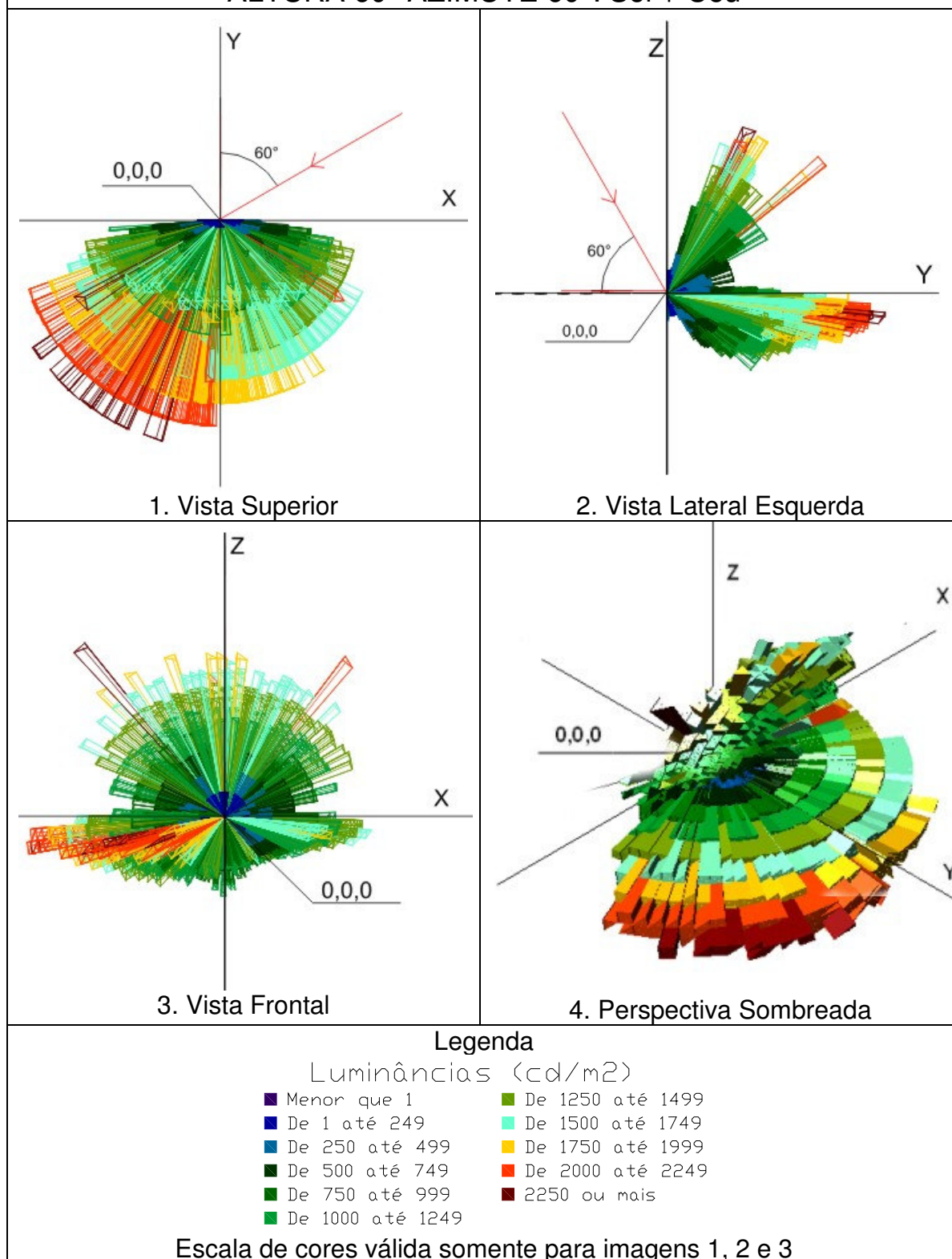
■ Menor que 1	■ De 5000 até 5999
■ De 1 até 999	■ De 6000 até 6999
■ De 1000 até 1999	■ De 7000 até 7999
■ De 2000 até 2999	■ De 8000 até 8999
■ De 3000 até 3999	■ 9000 ou mais
■ De 4000 até 4999	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 65 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 11

SITUAÇÃO 18: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu



V- Análise dos Resultados das Situações 5, 11 e 18:

Nessas três situações, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos a abertura, sendo admitida a luz difusa do céu e a luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e 20%.

A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 60° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida dominante nas placas horizontais.

Conforme identificado na vista lateral de cada figura do tipo *dxf* representativa dessas situações similares, para a situação 5 a admissão da luz refletida devido a menor altura solar (30°) resulta em valores menores do que na situação 11 de maior altura solar (60°), onde a luz direciona-se mais para a parte superior. Já na situação 18 análoga a 11 anterior, mas com refletância reduzida para 20%, os valores de luminância equivalente da janela reduzem-se em grande parte. Identifica-se também nessas vistas que a distorção devido ao efeito cosseno é mais significativa na situação 5 de menor altura solar. Também foram identificados nas duas situações de análise um pico de valores de luminância equivalente da janela, numa concentração de valores não justificada a princípio.

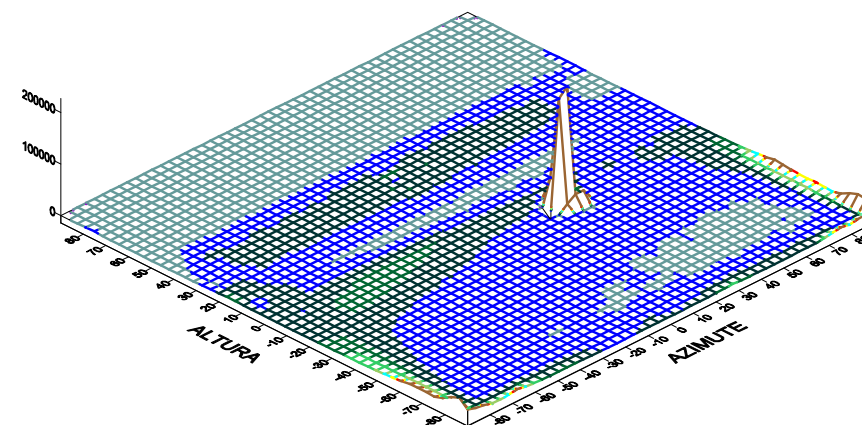
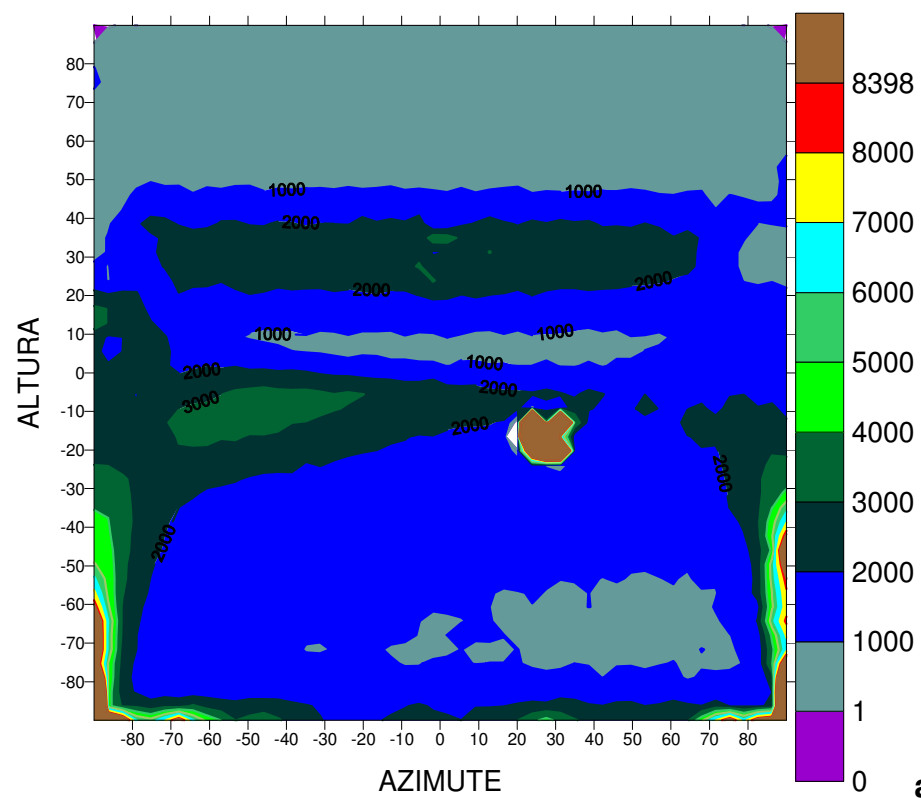
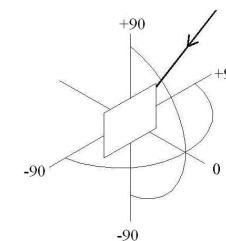
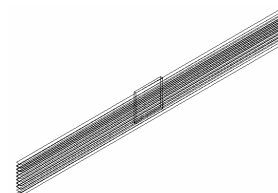
Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o lado esquerdo oposto ao da incidência de luz (azimute 60°). Na situação de maior altura solar (situação 11 com 60°), a luz direciona-se mais para a parte superior (maiores valores) do que no caso da situação 5 de altura solar menor (30°).

No gráfico adiante da situação 5 também pode ser melhor observada a distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, majoritariamente junto a parte inferior e para os dois lados.

Como de se esperar, situações similares de configuração física de elementos de controle solar – ECS apresentaram comportamento radiante também similar, com as alterações antes citadas devido a diferença de recepção da luz refletida em duas alturas e a redução da refletância das placas.

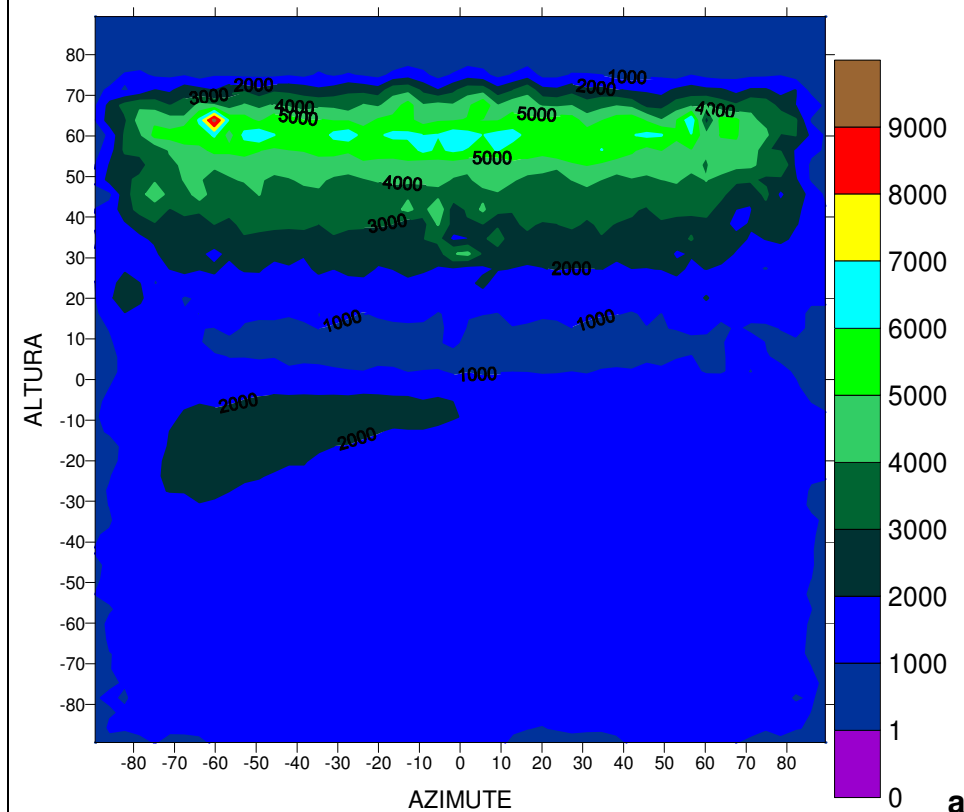
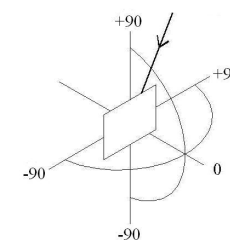
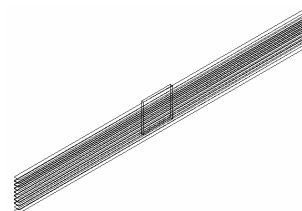
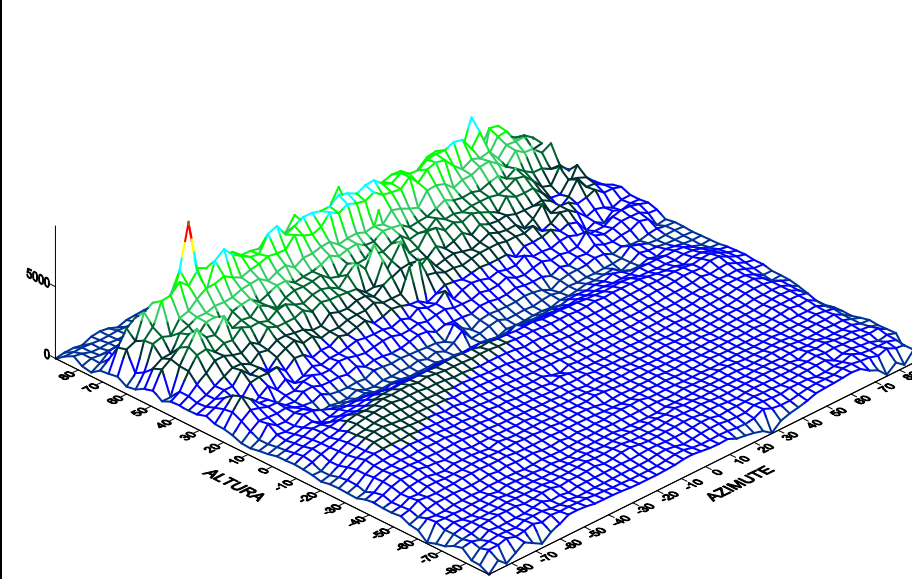
SITUAÇÃO 5: 10 PH de 0,346mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 10**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 5 com altura 30° e azimuth 60°

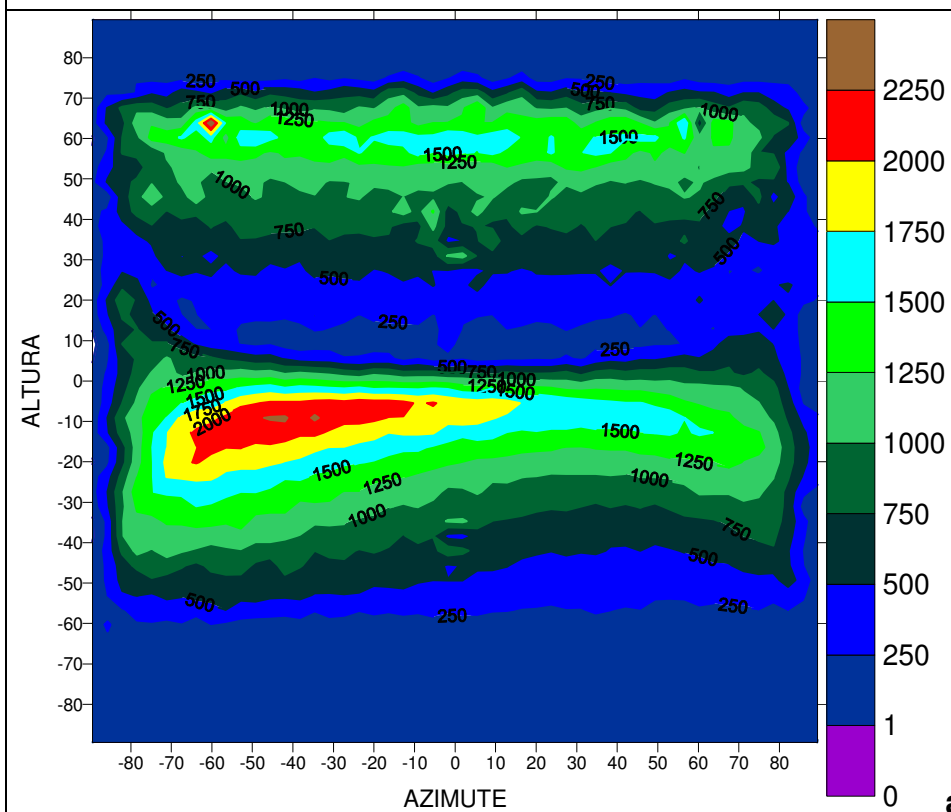
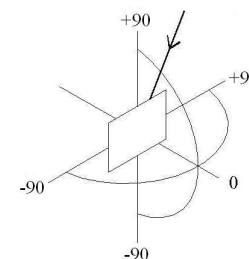
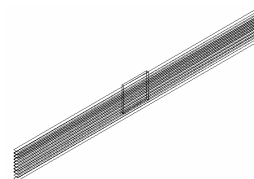
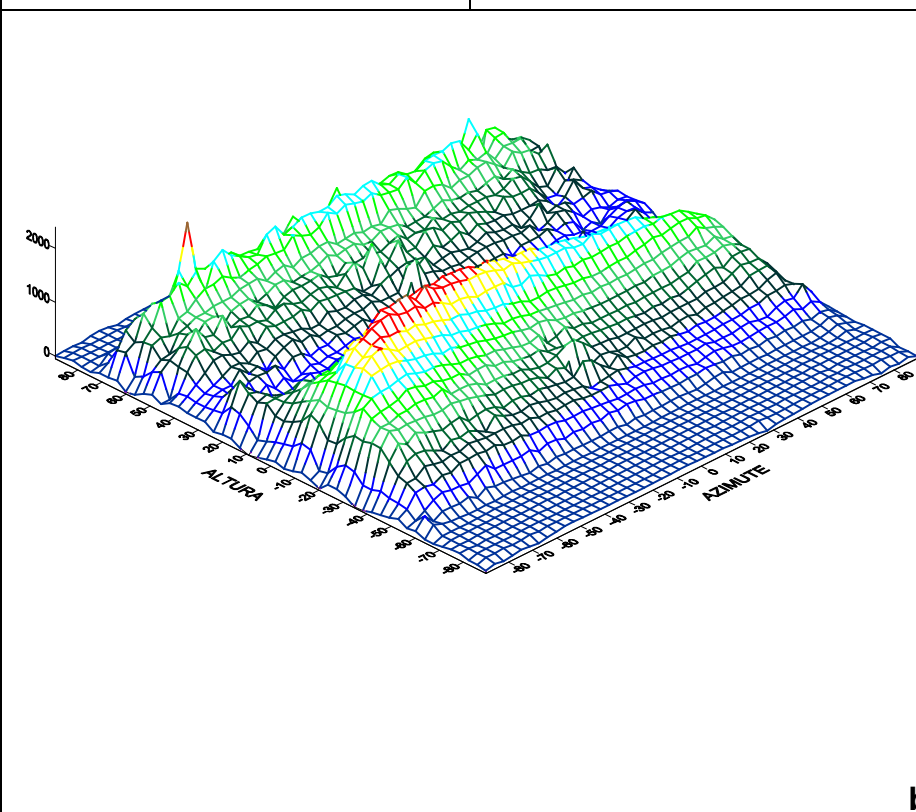
SITUAÇÃO 11: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**a****b****Gráfico 11**– Luminância equivalente da janela (L_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 11 com alt. 60° e az. 60°

SITUAÇÃO 18: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**a****b****Gráfico 12**– Luminância equivalente da janela (L_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 18 com alt. 60° e az. 60°

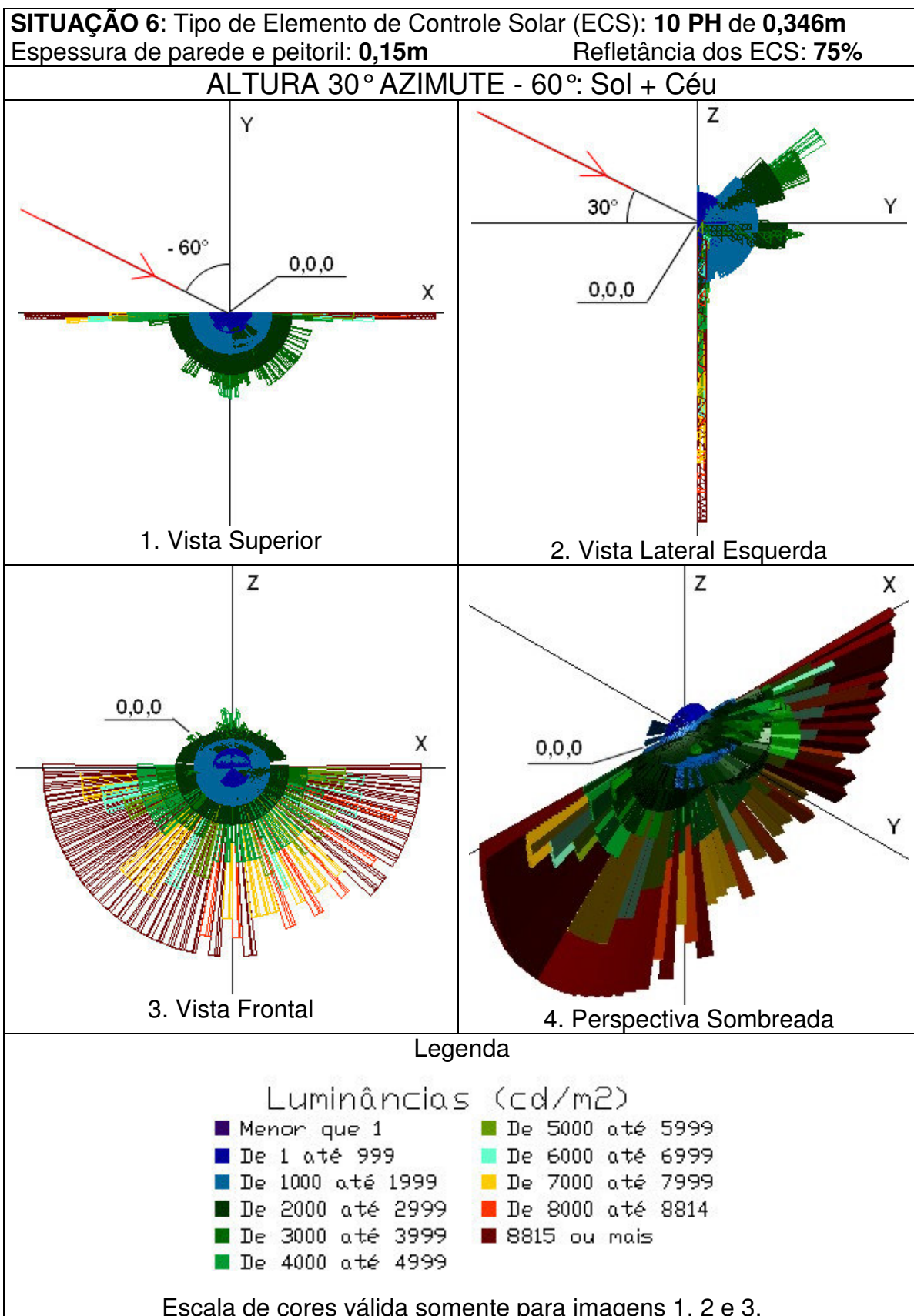


Figura 67 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 6

SITUAÇÃO 12: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu

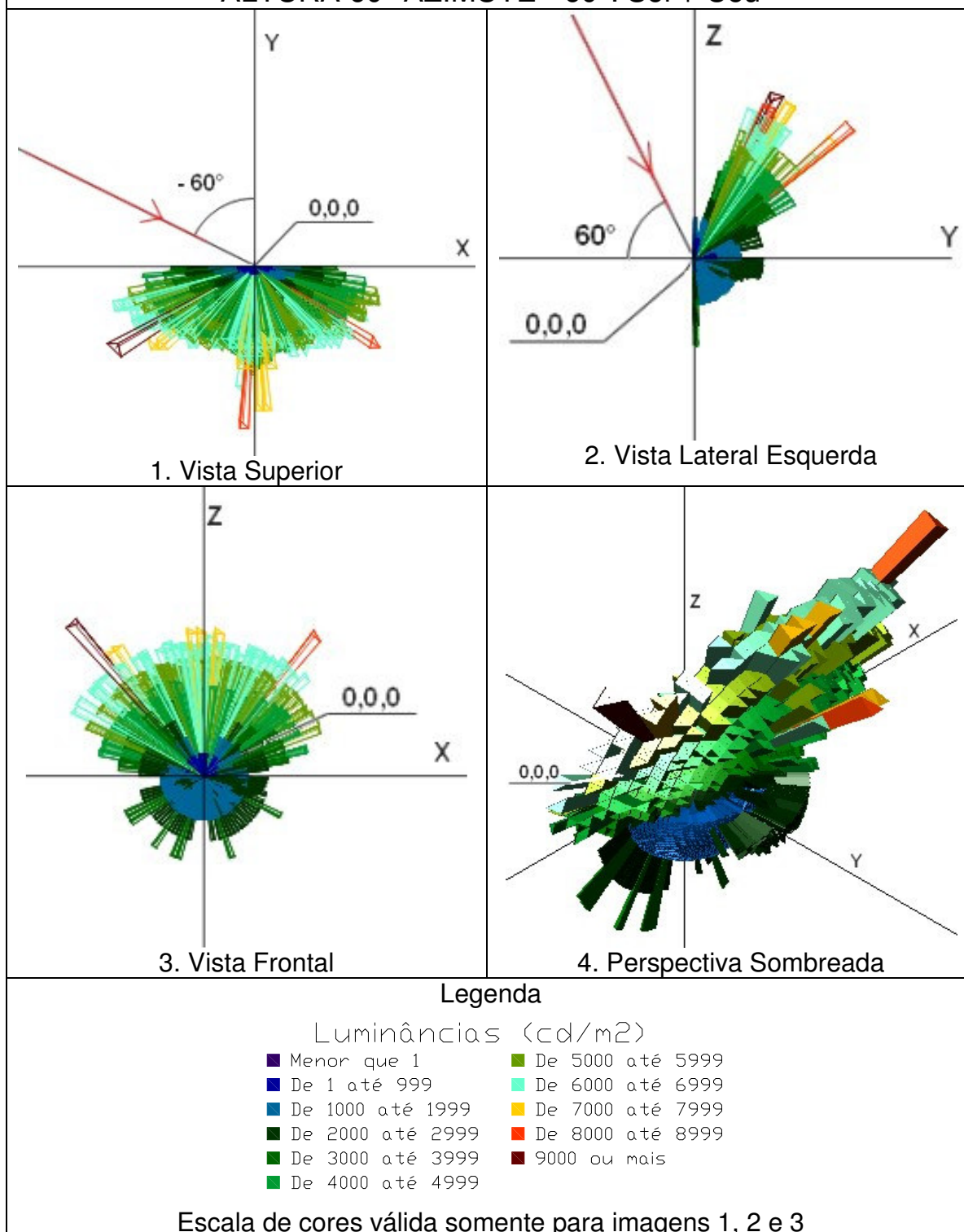
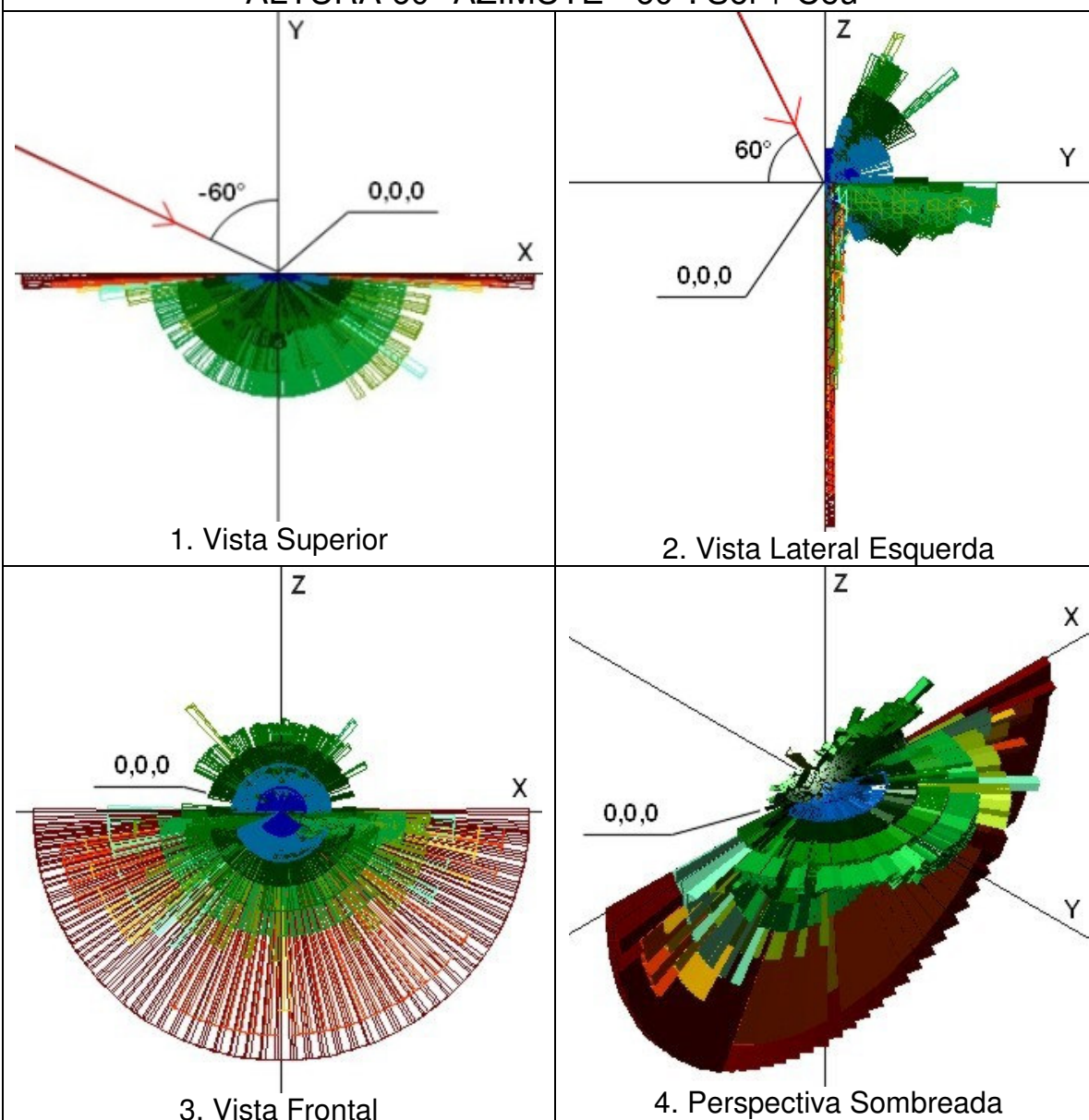


Figura 68 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 12

SITUAÇÃO 19: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 2500 até 2999
■ De 1 até 499	■ De 3000 até 3499
■ De 500 até 999	■ De 3500 até 3999
■ De 1000 até 1499	■ De 4000 até 5473
■ De 1500 até 1999	■ 5474 ou mais
■ De 2000 até 2499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 69 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 19

VI- Análise dos Resultados das Situações 6, 12 e 19 :

Nessas três situações, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos a abertura, sendo admitida a luz difusa do céu e a luz refletida nas placas horizontais.

A direcionalidade identificada da luz deve-se ao azimute -60° e segue em grande parte a direção do hemisfério superior devido a luz refletida nas placas horizontais, nas refletâncias de 75% e 20%, nas alturas solares respectivas de 30° , 30° e 60° .

Conforme identificado na vista lateral de cada figura do tipo *dx*f representativa dessas situações similares, para a situação 6 a admissão da luz refletida devido a menor altura solar (30°) resulta em valores menores de luminância equivalente da janela do que nas situações 12 de maior altura solar (60°). Já a situação análoga a situação 12 com menor refletância (situação 19), possui valores mais reduzidos de luminância equivalente da janela. Identifica-se também a distorção devido ao efeito cosseno de forma similar para as situações 6 e 19; para a situação 12 o efeito desta distorção é mais reduzido.

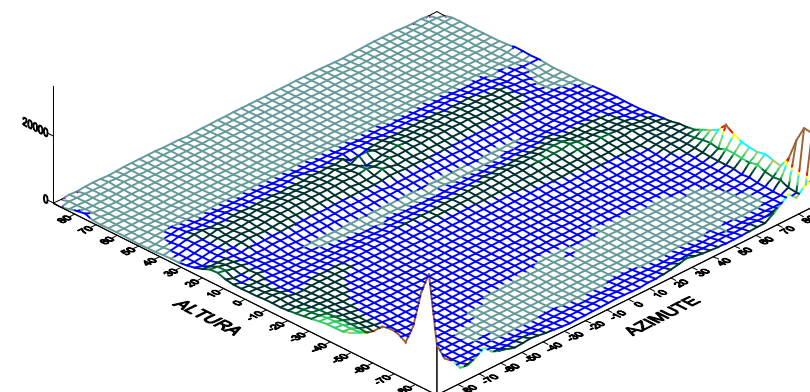
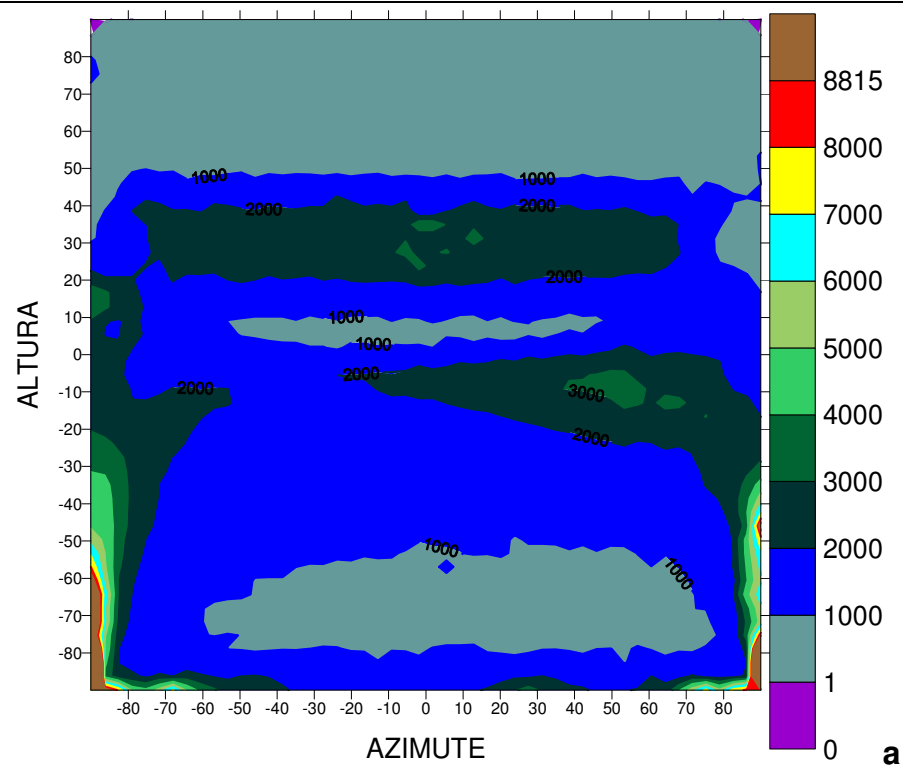
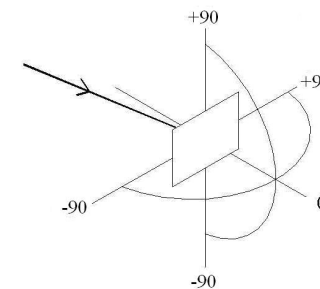
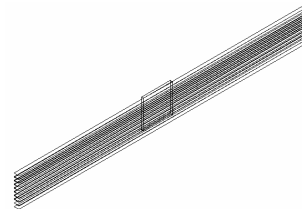
Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o lado direito oposto ao da incidência de luz (azimute -60°). Nas situações 12 e 19 com altura solar de 60° e refletâncias respectivas de 75 e 20%, a luz direciona-se mais para a parte superior em valores até 2.000 cd/m^2 e 7.000 cd/m^2 ; já na situações de menor altura solar (situação 6 com 30° e refletância de 75%), a luz direciona-se menos para a parte superior, com valores dominantes até 3.000 cd/m^2 .

No gráfico adiante das situações 6 e 19 também pode ser melhor observada a distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, majoritariamente junto a parte inferior e para os dois lados.

Mesmo na situação 19 com menor refletância das placas horizontais (20%) e com maior altura solar (60°), existe boa possibilidade de reflexão da luz.

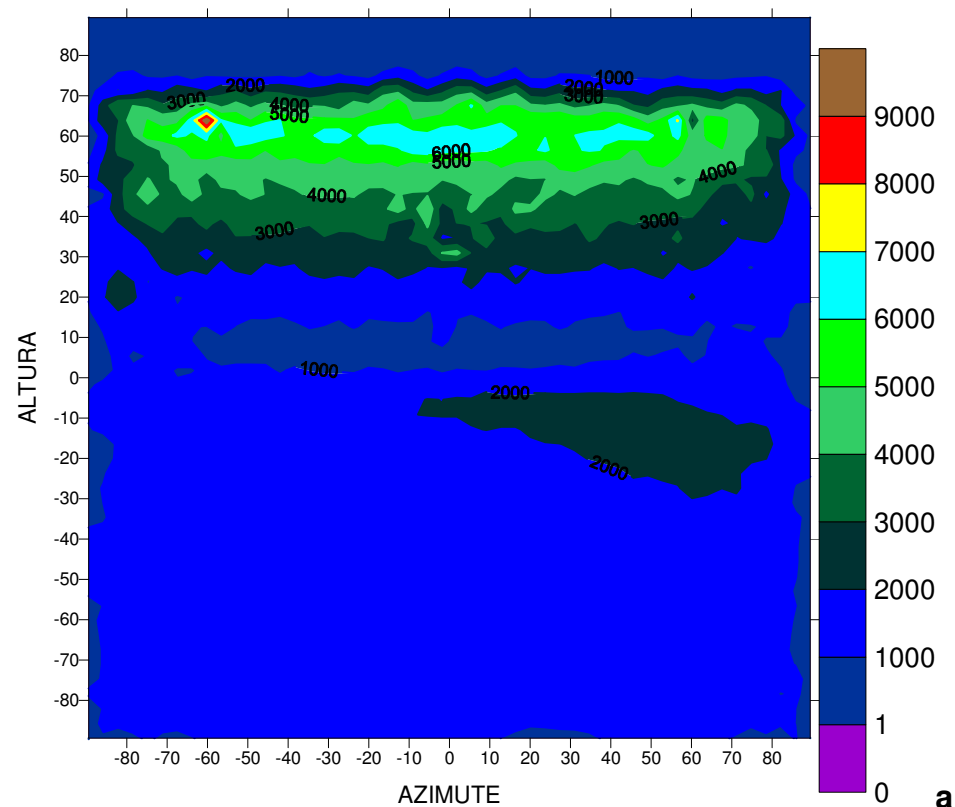
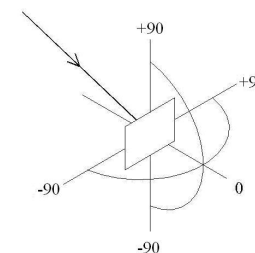
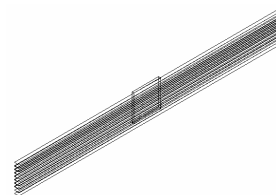
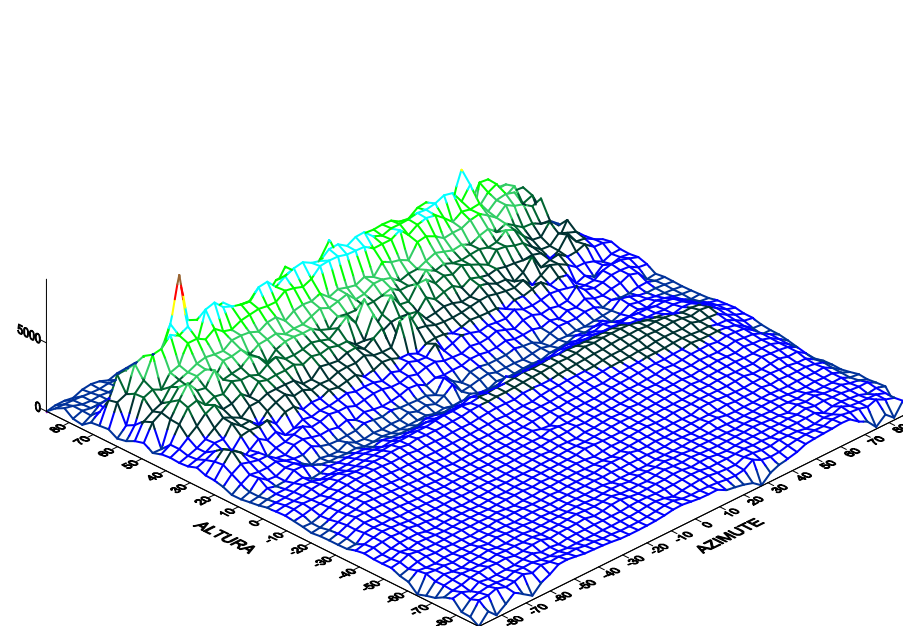
SITUAÇÃO 6: 10 PH de 0,346mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 13–** Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 6 com alt. 30° e az. -60°

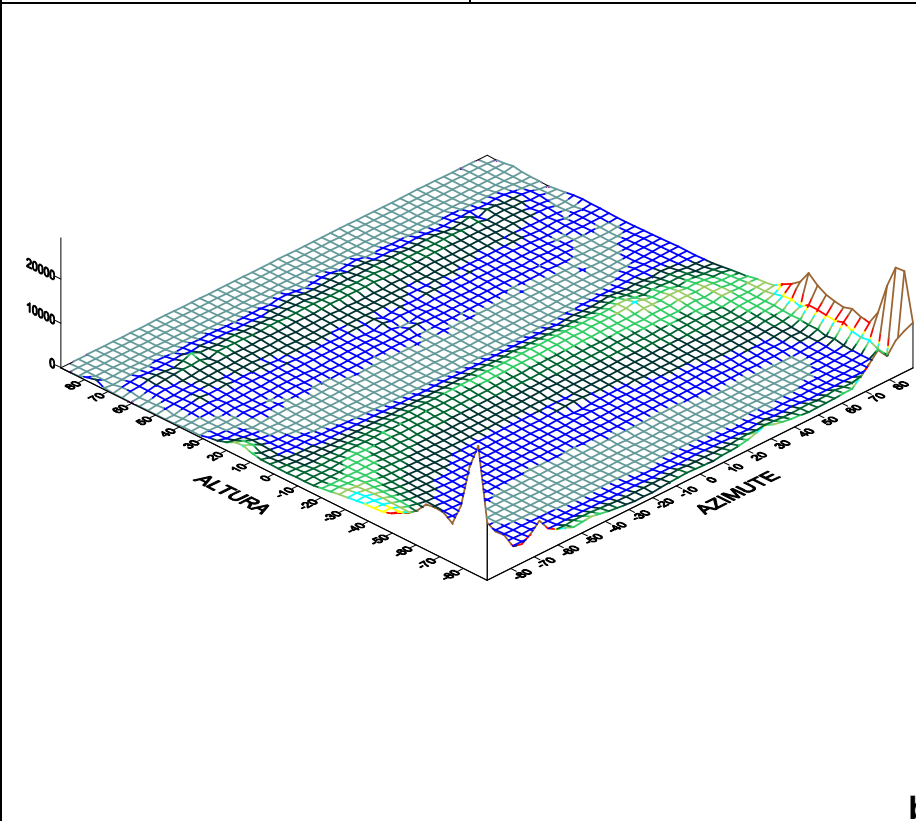
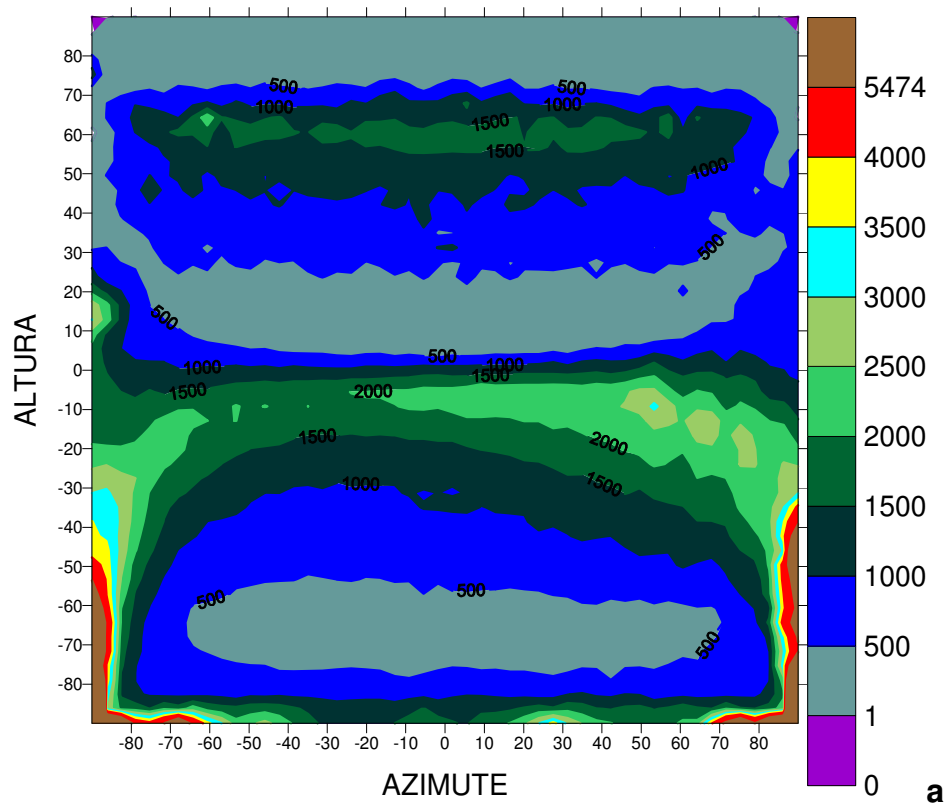
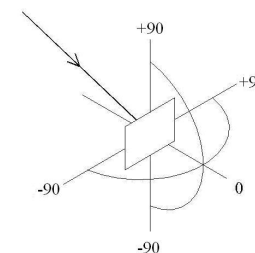
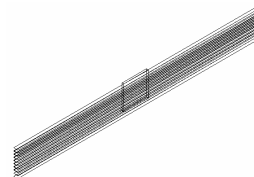
SITUAÇÃO 12: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**a****b****Gráfico 14**– Luminância equivalente da janela (L_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 12 com alt. 60° e az. -60°

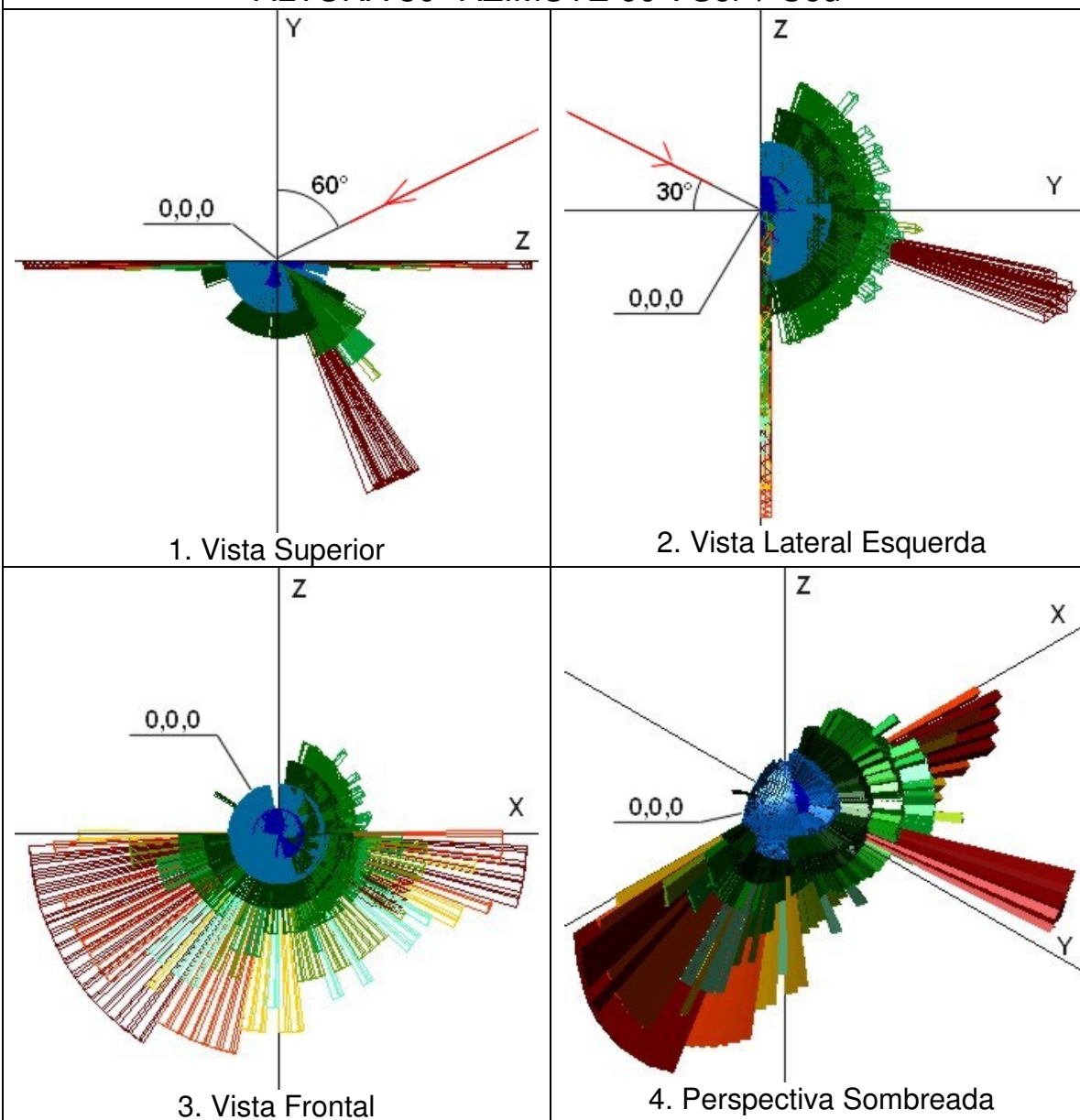
SITUAÇÃO 19: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%****ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 15–** Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 19 com alt. 60° e az. -60°

SITUAÇÃO 13: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **5 PV de 0,5m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

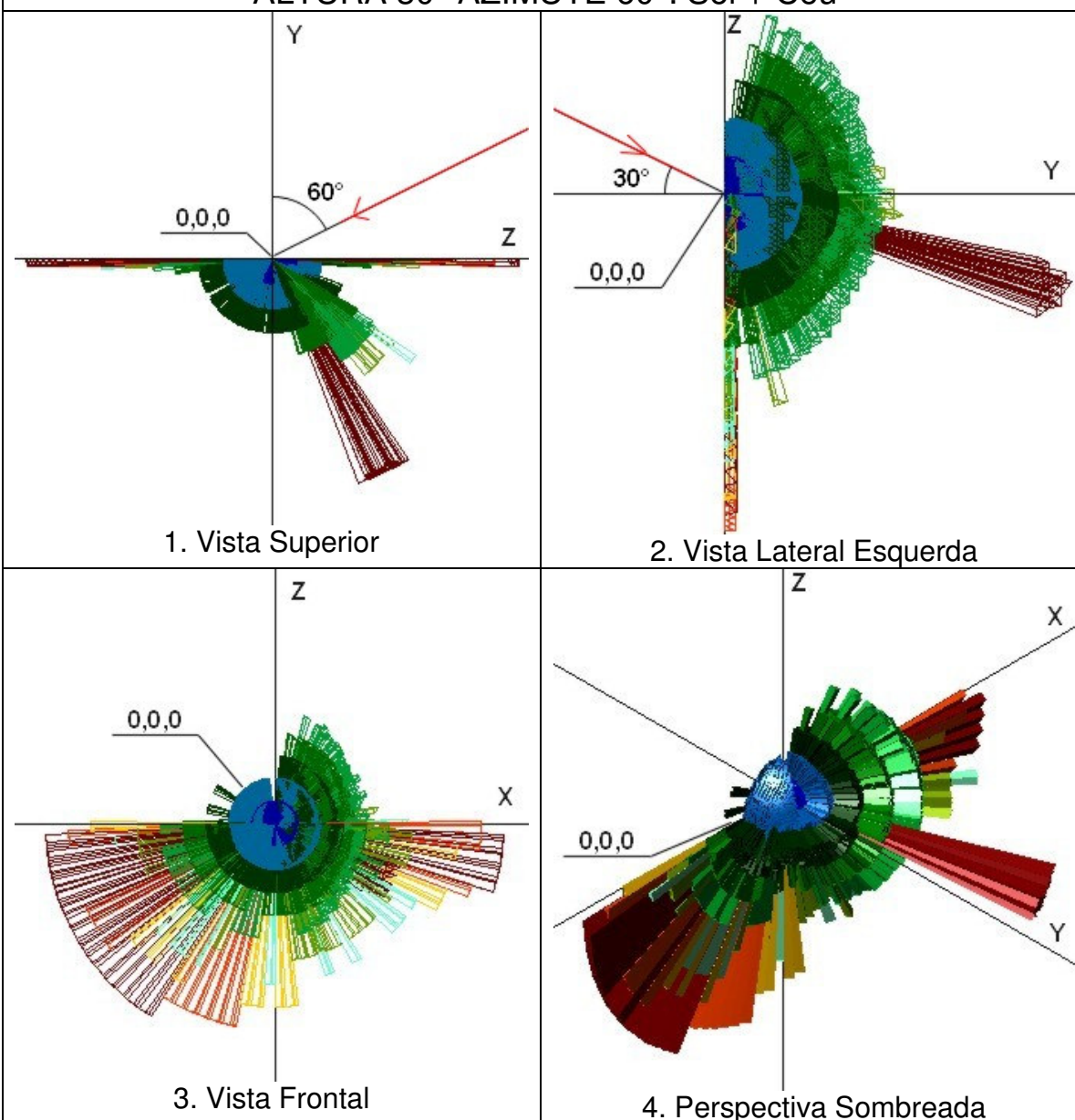
■ Menor que 1	■ De 7500 até 8999
■ De 1 até 1499	■ De 9000 até 10499
■ De 1500 até 2999	■ De 10500 até 11999
■ De 3000 até 4499	■ De 12000 até 14566
■ De 4500 até 5999	■ 14567 ou mais
■ De 6000 até 7499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 70 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 13

SITUAÇÃO 14: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PV** de **0,222m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 7500 até 8999
■ De 1 até 1499	■ De 9000 até 10499
■ De 1500 até 2999	■ De 10500 até 11999
■ De 3000 até 4499	■ De 12000 até 14616
■ De 4500 até 5999	■ 14617 ou mais
■ De 6000 até 7499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 71 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 14

VII- Análise dos Resultados das Situações 13 e 14 :

Nessas duas situações, a existência de 5 e 10 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (azimute 60°), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura (30°) e azimute de estudo.

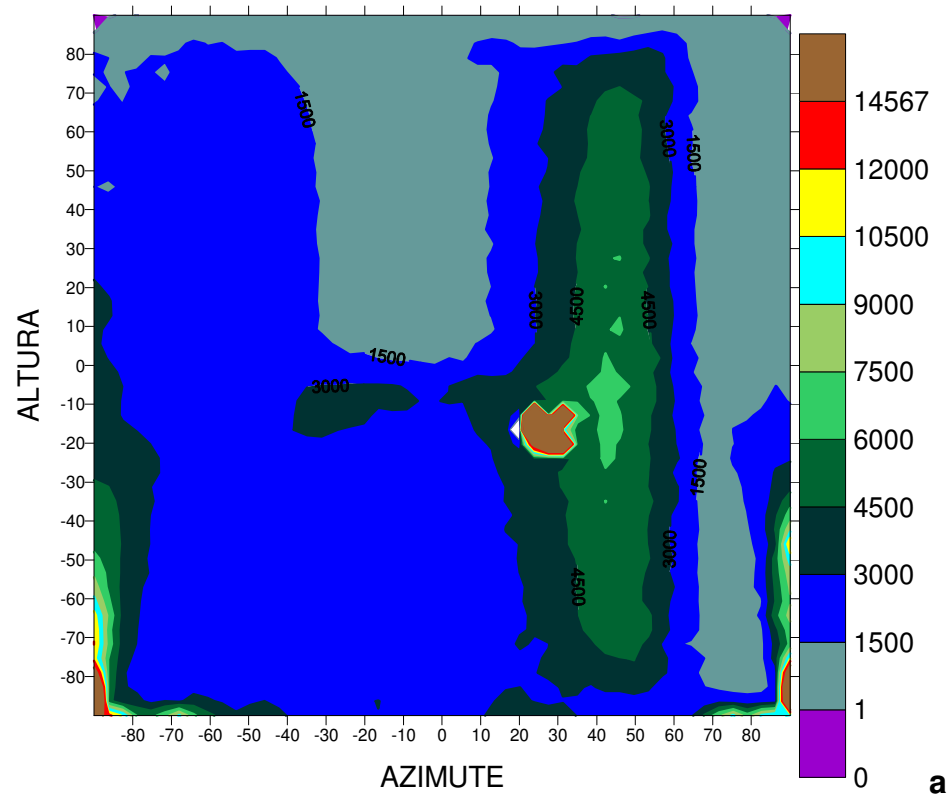
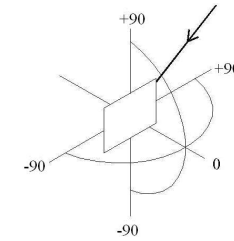
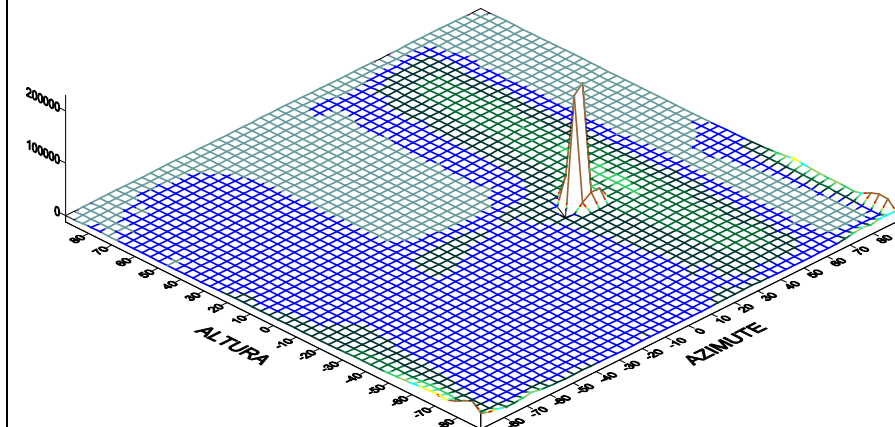
A direcionalidade da luz para o mesmo lado da sua incidência (azimute 60°) está claramente identificada com os valores dominantes, assim como na direção dos dois hemisférios em valores não máximos, devido a reflexão da luz nas placas verticais, num comportamento similar nas duas situações (5 PV e 10 PV).

Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o mesmo lado direito da incidência de luz (azimute 60°). Comparando as duas situações de altura solar 30° no que se refere a distribuição dos resultados, identificou-se uma maior diversidade dos valores de luminância equivalente da janela no caso de 10 PV.

No gráfico adiante das situações 13 e 14 pode ser também observada a menor distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, junto a parte inferior e para os dois lados.

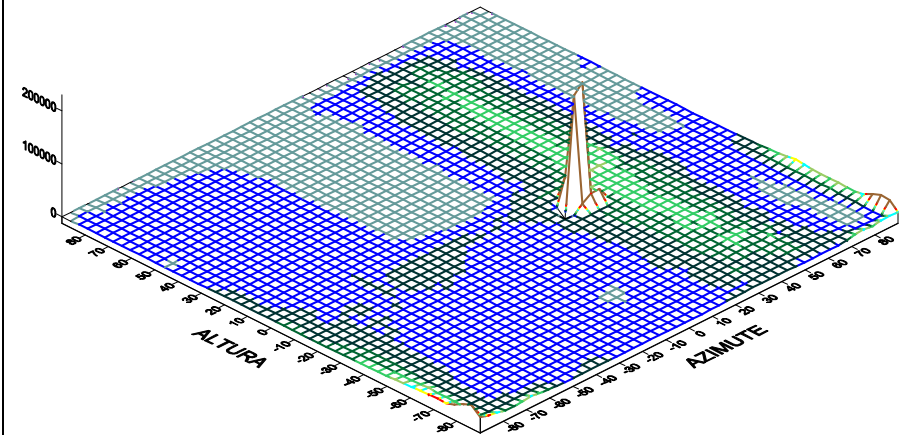
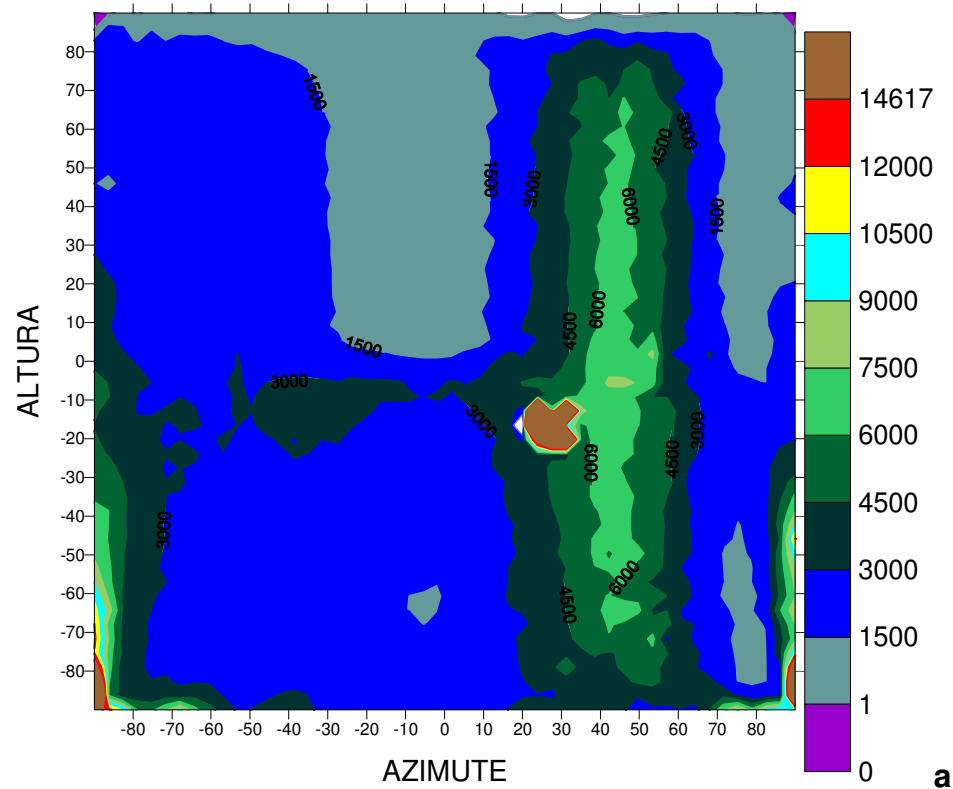
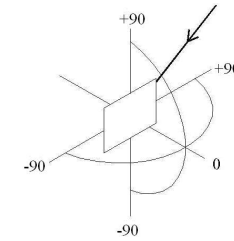
SITUAÇÃO 13: 5 PV de 0,5mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

5 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**a****b****Gráfico 16**– Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 13 com alt. 30° e az. 60°

SITUAÇÃO 14: 10 PV de 0,222mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**Gráfico 17–** Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 14 com alt. 30° e az. 60°

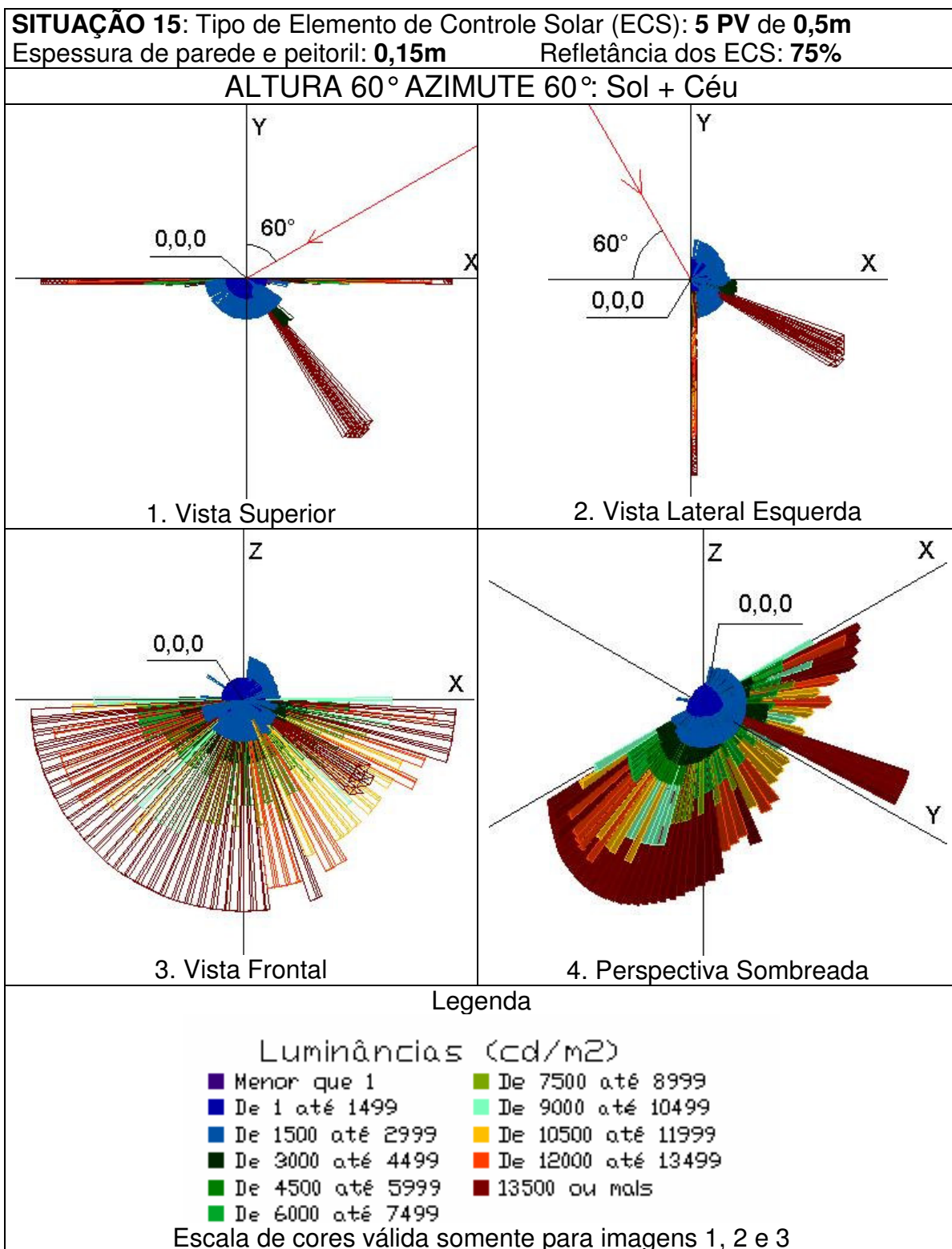
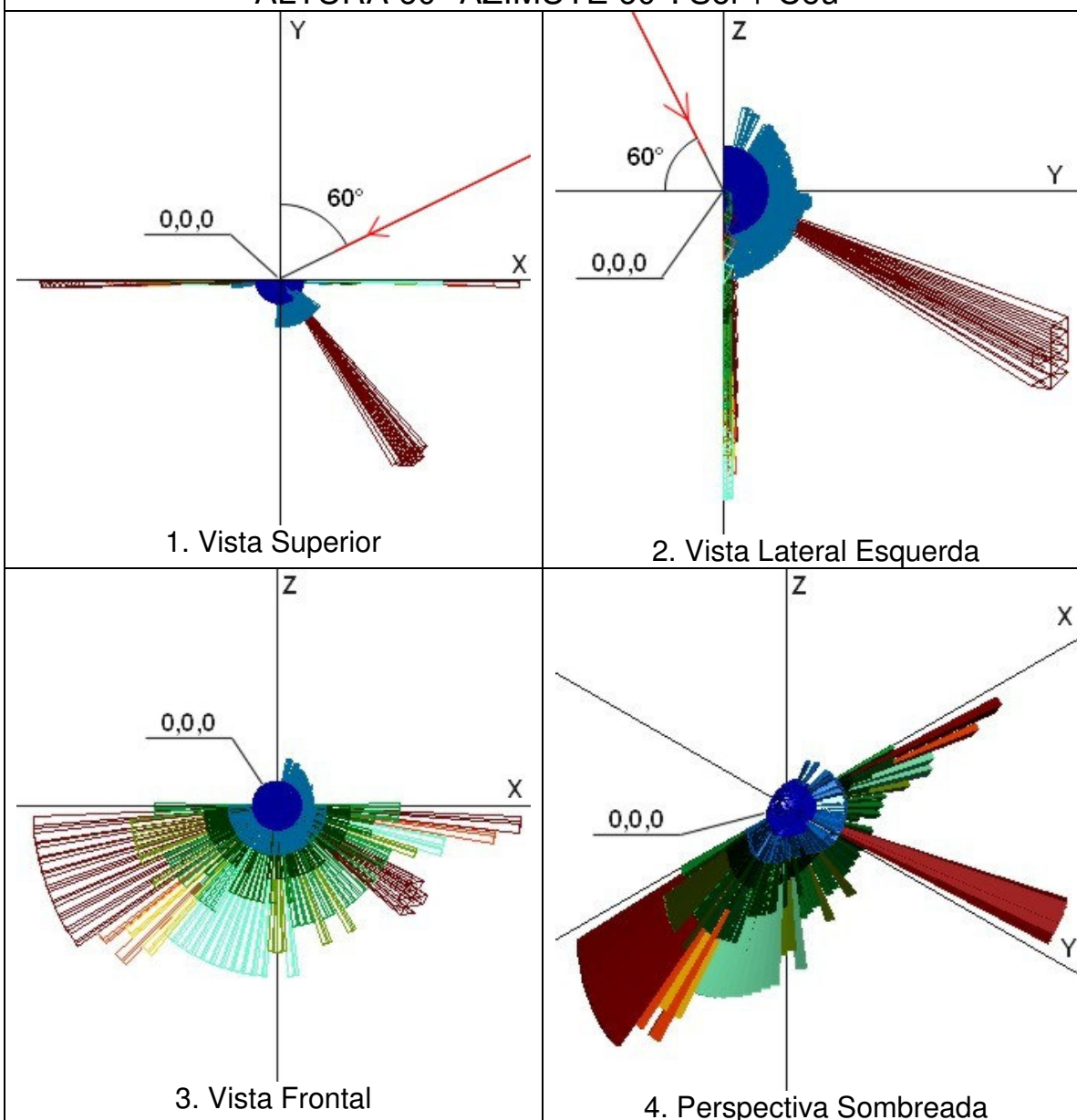


Figura 72 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 15

SITUAÇÃO 16: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PV** de **0,222m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 12500 até 14999
■ De 1 até 2499	■ De 15000 até 17499
■ De 2500 até 4999	■ De 17500 até 19999
■ De 5000 até 7499	■ De 20000 até 21725
■ De 7500 até 9999	■ 21726 ou mais
■ De 10000 até 12499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 73 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 16

VIII- Análise dos Resultados das Situações 15 e 16 :

Nessas duas situações, a existência de 5 e 10 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (azimute 60°), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura (60°) e azimute de estudo.

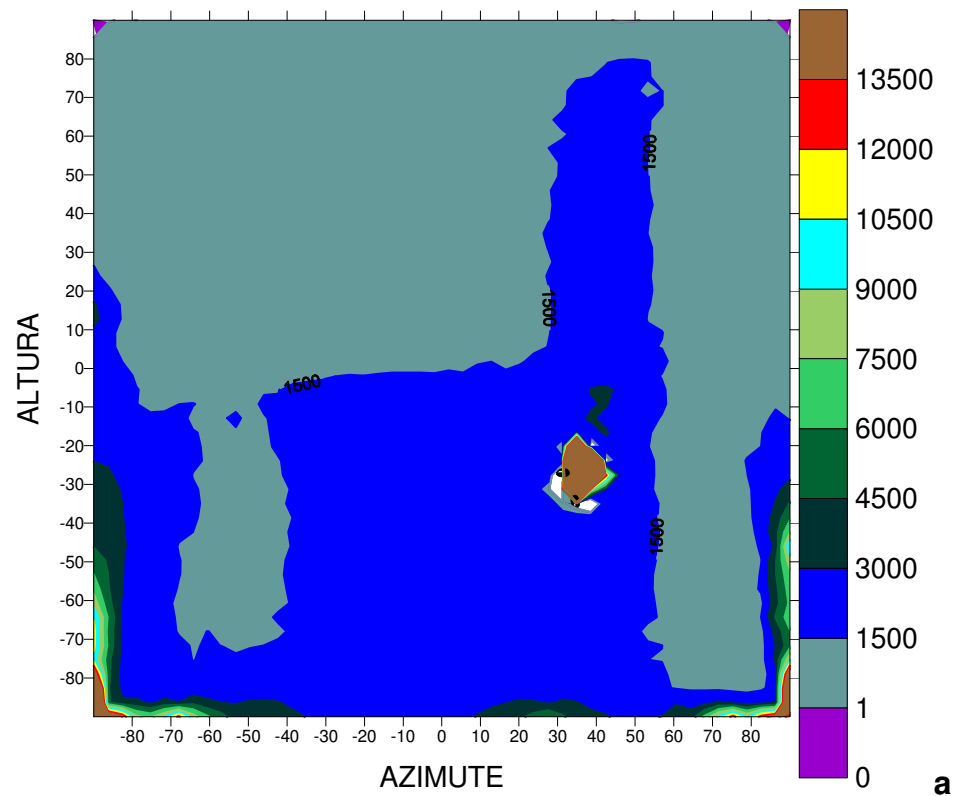
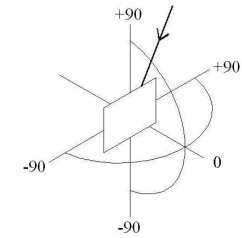
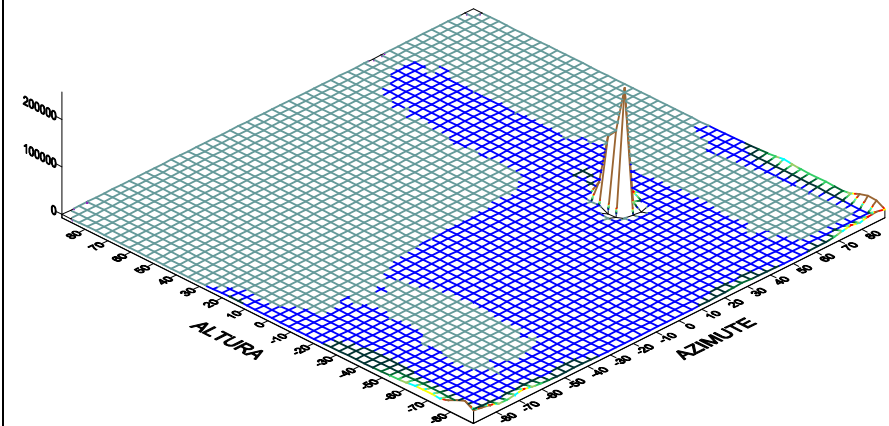
A direcionalidade da luz para o mesmo lado da sua incidência (azimute 60°) está claramente identificada com os valores dominantes de luminância equivalente da janela, assim como na direção dos dois hemisférios devido a reflexão da luz nas placas verticais, em valores mais reduzidos do que nas situações análogas 13 e 14 com menor altura solar (30°).

Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o mesmo lado direito da incidência de luz (azimute 60°). Comparando as duas situações de altura solar 60° no que se refere a distribuição dos resultados, identificou-se uma maior diversidade dos valores de luminância equivalente da janela no caso de 10 PV, como também ocorreu nas situações análogas 13 e 14 antes citadas.

No gráfico adiante das situações 15 e 16 pode ser também observada a menor distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, junto a parte inferior e para os dois lados.

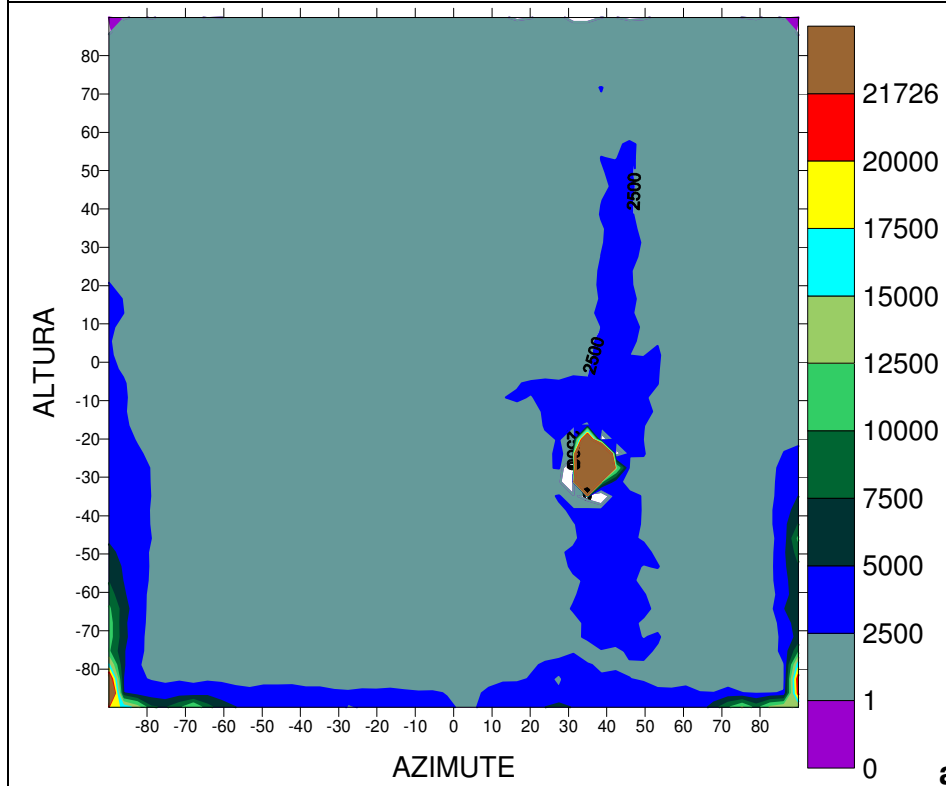
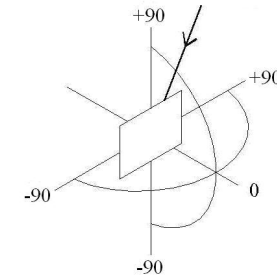
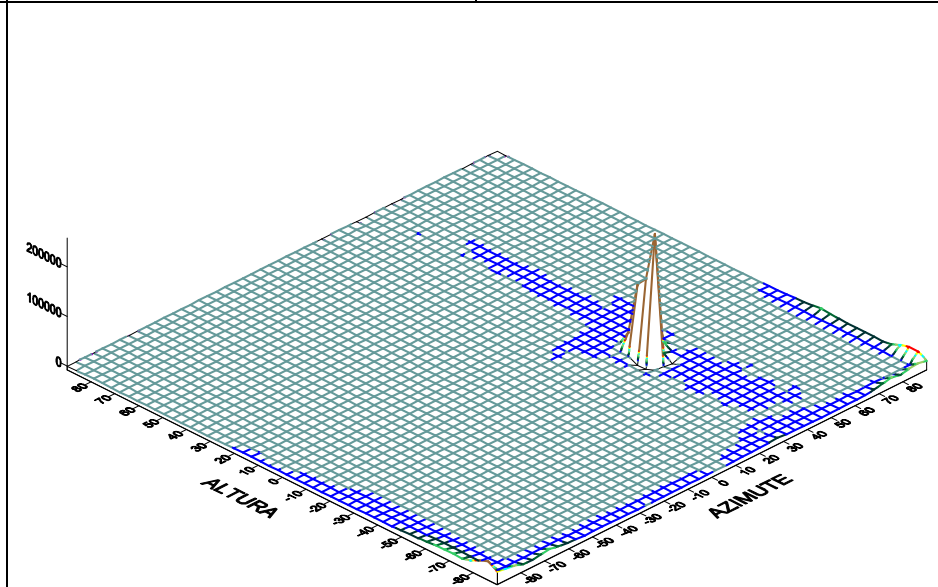
SITUAÇÃO 15: 5 PV de 0,5mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

5 placas verticais sobre a janela, como brises verticais

**a****b****Gráfico 18**– Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 15 com alt. 60° e az. 60°

SITUAÇÃO 16: 10 PV de 0,222mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**a****b****Gráfico 19** – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m²) em imagem 3D para situação 16 com alt. 60° e az. 60°

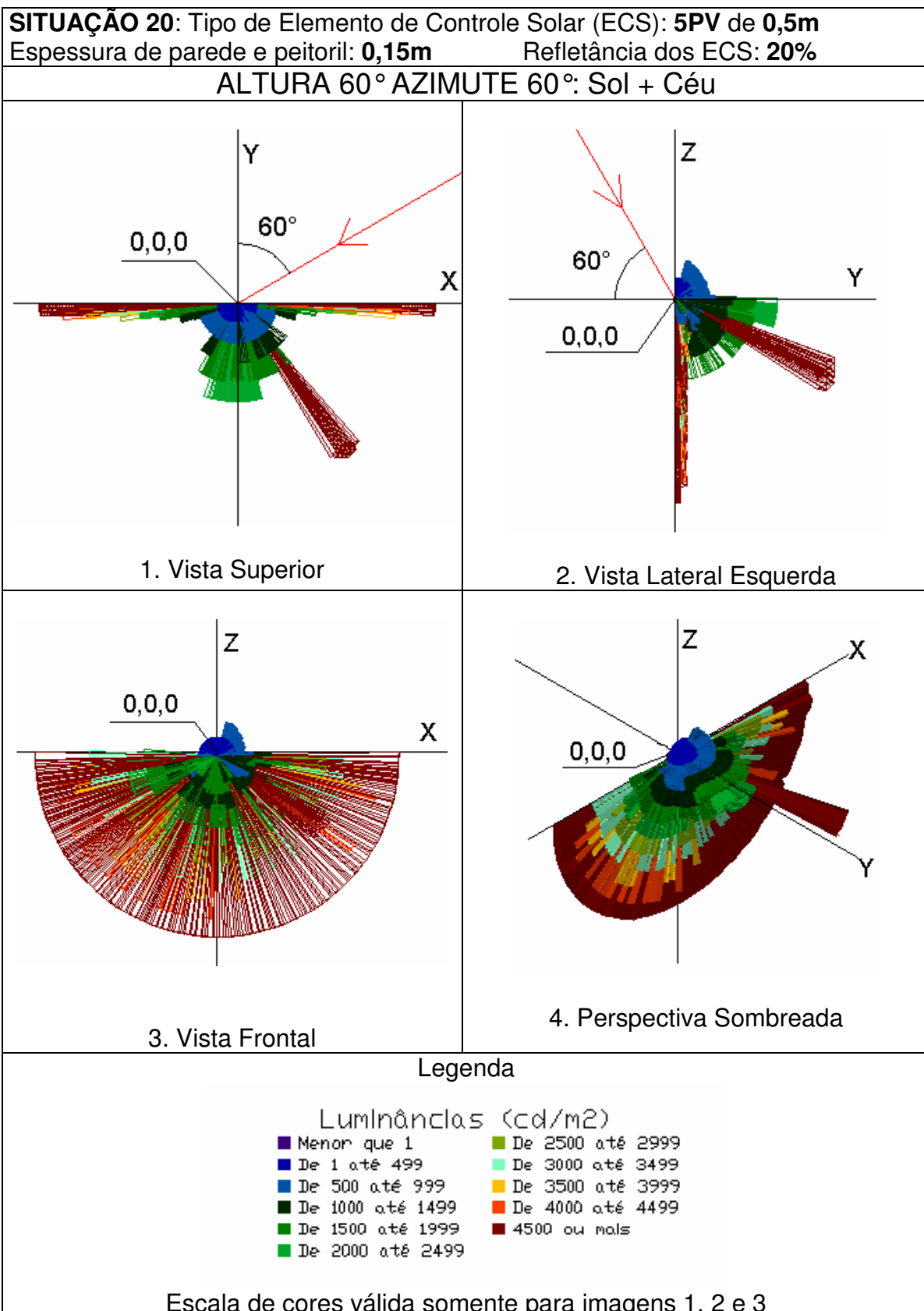


Figura 74 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 20

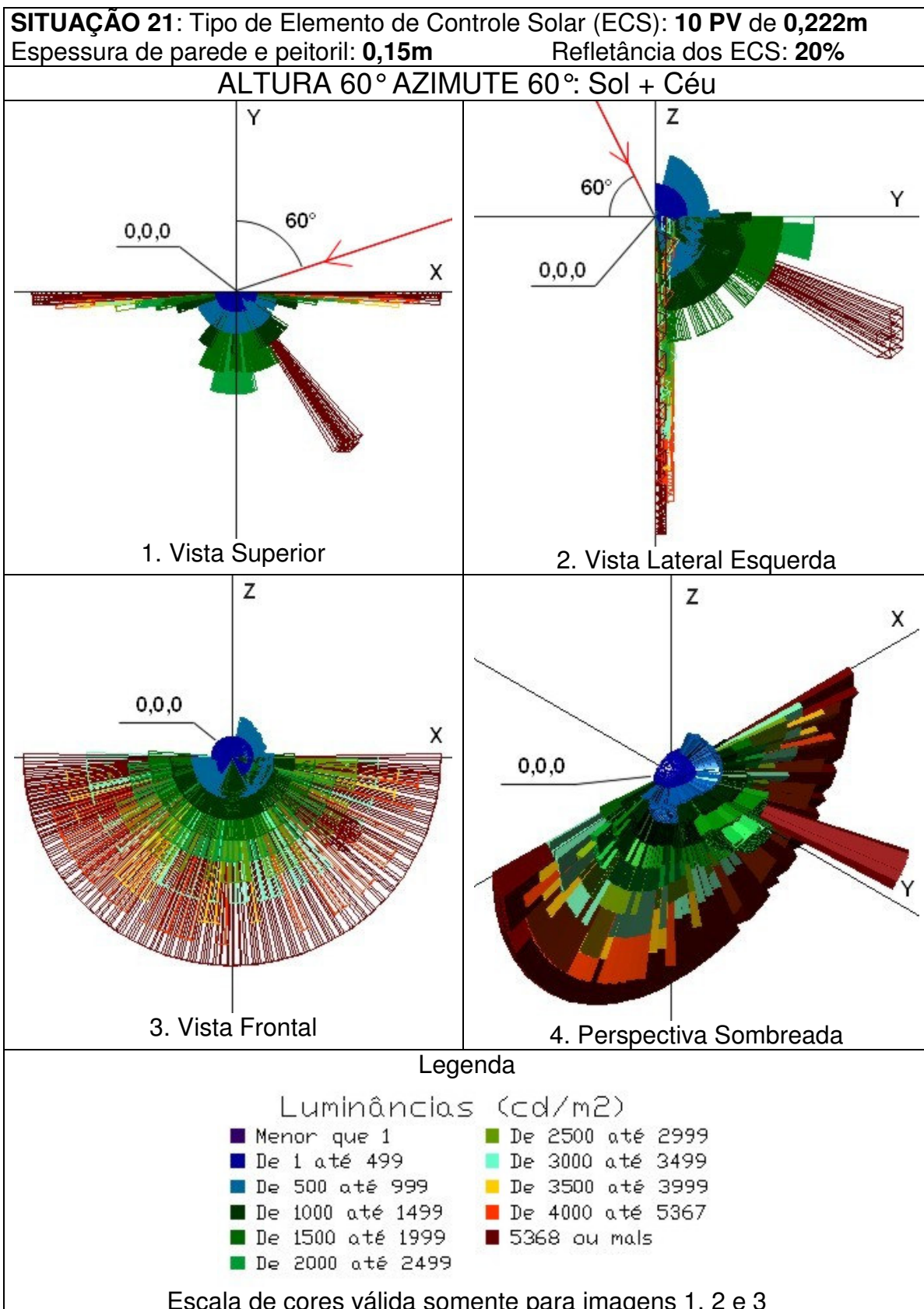


Figura 75 – Resultados de luminância equivalente da janela para a situação 21

IX- Análise dos Resultados das Situações 20 e 21 :

Nessas duas situações, a existência de 5 e 10 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (azimute 60°), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 20% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura (60°) e azimute de estudo.

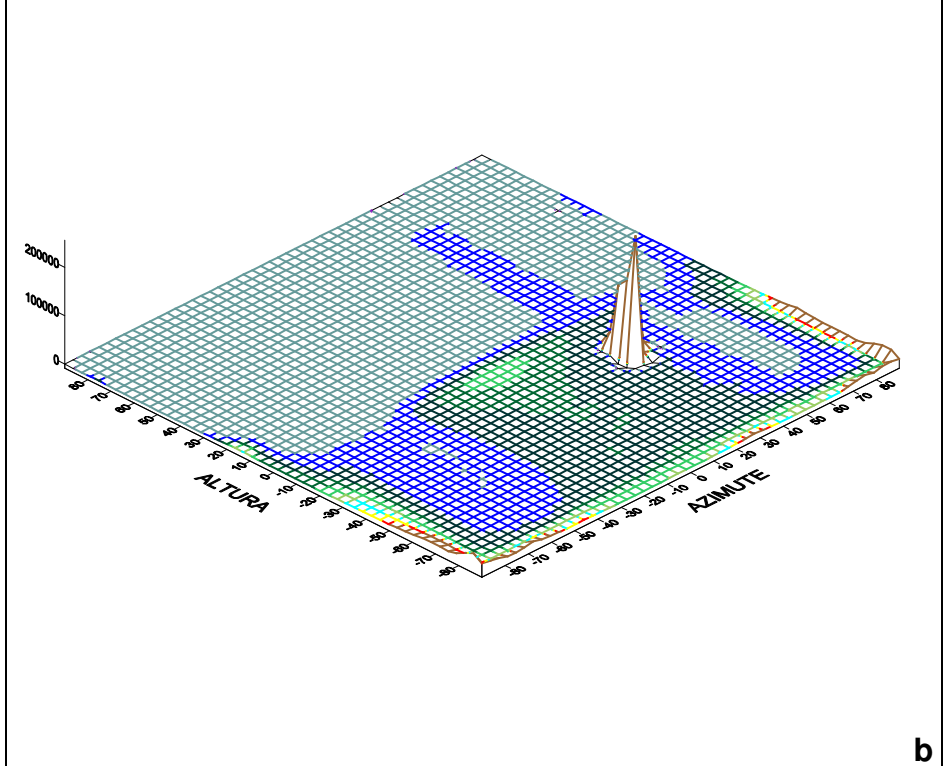
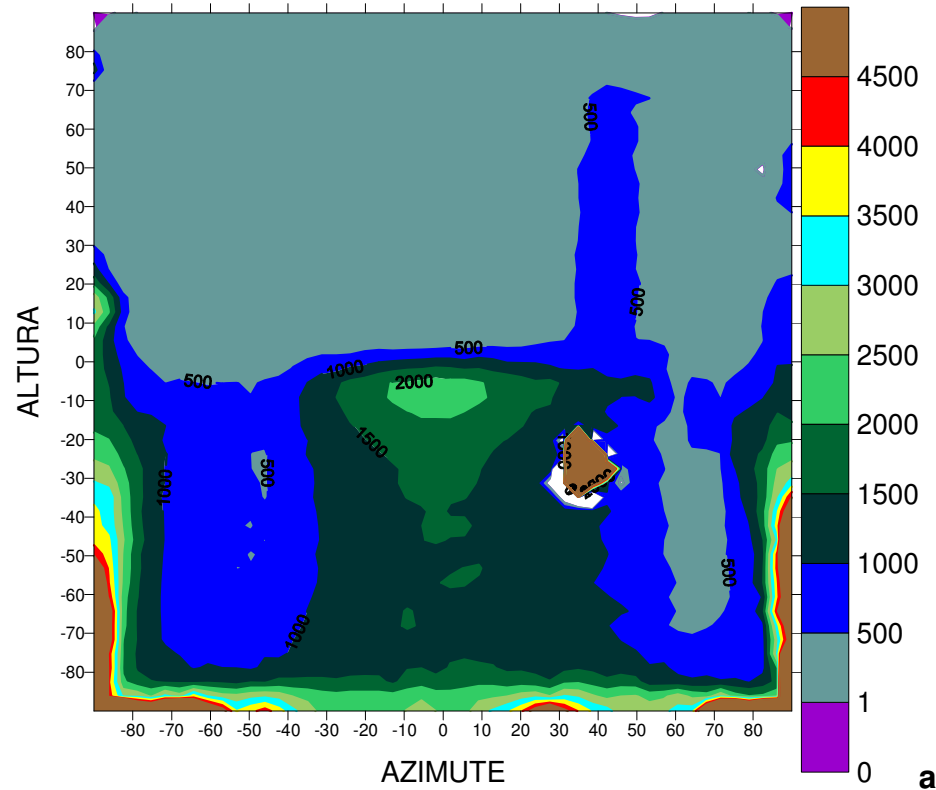
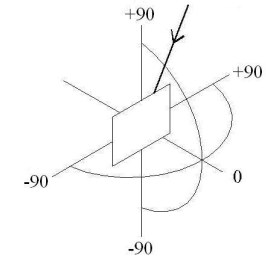
A direcionalidade da luz para o mesmo lado da sua incidência (azimute 60°) está claramente identificada com os valores dominantes de luminância equivalente da janela, assim como na sua maioria para a parte inferior, devido a menor reflexão da luz nas placas verticais quando comparado com as situações análogas 15 e 16 de maior refletância.

Nos gráficos adiante do tipo coordenadas altura e azimute no plano da abertura, o comportamento similar da direcionalidade da luz pode ser melhor observado, numa distribuição majoritária para o mesmo lado direito da incidência de luz (azimute 60°). Comparando essas duas situações de altura solar 60° com menor refletância do que as situações análogas 15 e 16 com 75%, identificou-se uma distribuição similar dos valores de luminância equivalente da janela.

No gráfico adiante das situações 20 e 21 pode ser também observada a maior distorção nos valores de luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno e junto a parte inferior e para os dois lados, quando comparado com as situações análogas com maior refletância das placas.

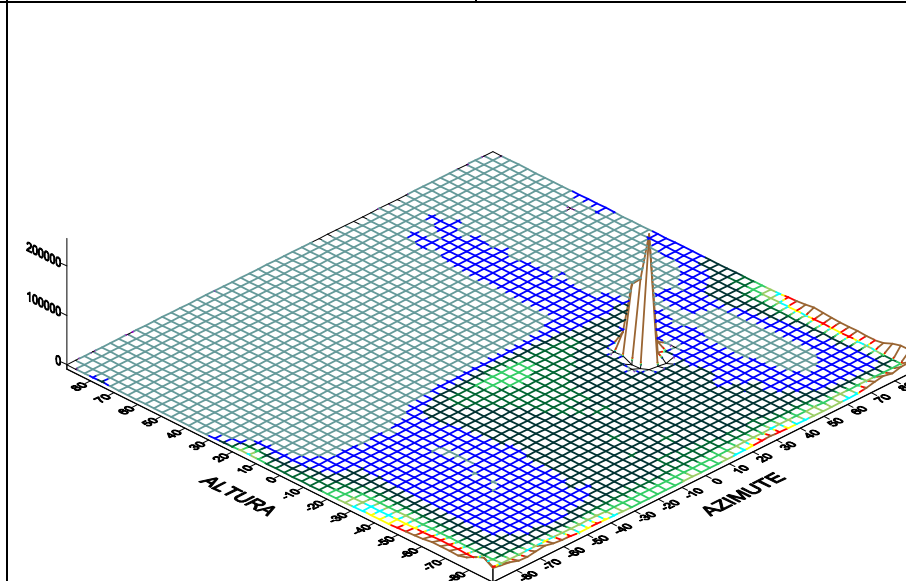
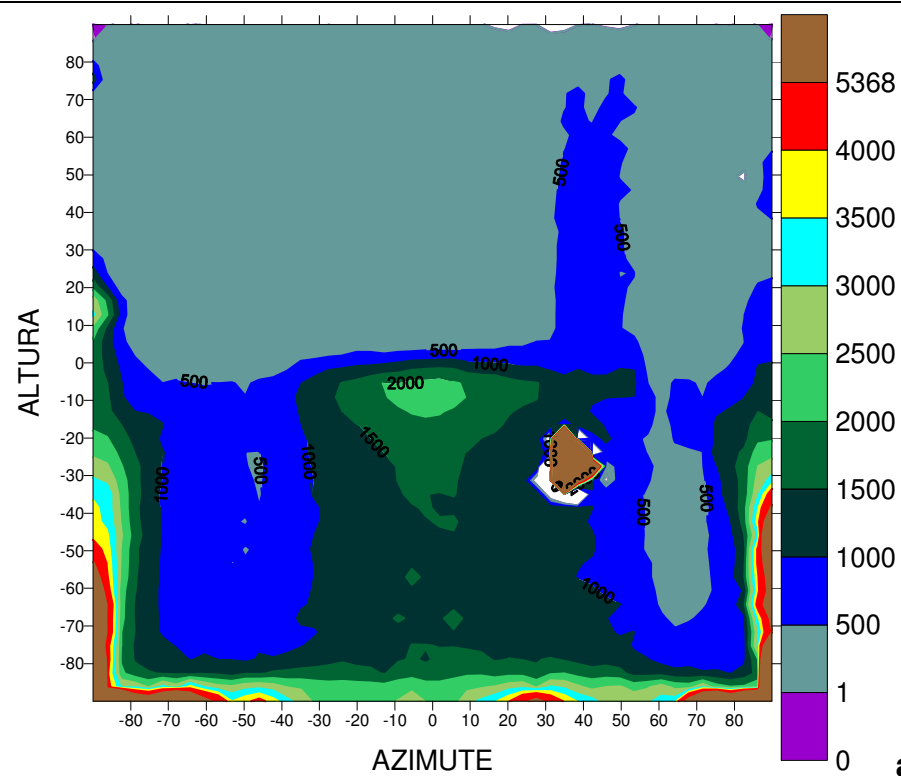
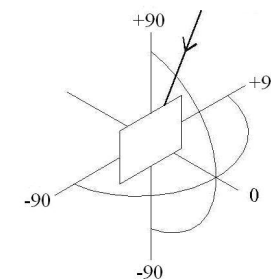
SITUAÇÃO 20: 5 PV de 0,5mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

5 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**Gráfico 20**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 20 com alt. 60° e az. 60°

SITUAÇÃO 21: 10 PV de 0,222mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: 20%**ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**Gráfico 21** – Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 21 com alt. 60° e az. 60°

4.2 Análise Geral dos Resultados

Os resultados apresentados nas tabelas para fluxo luminoso e luminância equivalente da janela nas situações 1 a 21 são analisados adiante, em função das variáveis de estudo.

O método desenvolvido da hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz (janela) possibilitou a comparação de uma situação de referência da abertura sem nenhum tipo de obstrução, com outras situações com elementos de controle solar de geometria e refletância diferenciadas.

A avaliação do fluxo luminoso admitido através das aberturas com diferentes configurações de elementos de controle solar - ECS, refletância dos ECS e na espessura de peitoril e parede, segundo a divisão do plano externo do vidro em 121 partes, identificou um conjunto de parcelas de contribuição do fluxo luminoso admitido, cada uma com variação em relação às obstruções existentes (partes dos elementos de controle solar), totalizando o fluxo luminoso total admitido.

A representação de um ambiente interno por meio da hemisfera oca possibilitou caracterizar a abertura como fonte de luz, identificando a direção da luz admitida segundo a contribuição de luz de cada parcela da superfície interna da hemisfera (valores de iluminância) na luminância equivalente da janela, esta representativa da distribuição espacial da luz admitida.

4.2.1 Fluxo Luminoso - Influência da Geometria dos Elementos de Controle Solar

Em relação à geometria dos ECS, foram avaliados os elementos de controle solar em dois conjuntos: do tipo 1 placa horizontal e 10 placas horizontais; do tipo 5 placas verticais e 10 placas verticais.

Com essa variação geométrica extrema de tipos de elementos horizontais e verticais, procurou-se identificar a variação existente nos resultados de fluxo luminoso e luminância equivalente da janela, indicando dessa maneira, como a geometria influencia no desempenho luminoso, em termos quantitativos e na distribuição espacial da luz.

Em termos quantitativos, nas tabelas a seguir são apresentados os comparativos médios da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso - Im**) obtidos a partir de uma média aritmética simples dos valores de fluxo luminoso nos azimutes 0, 60 e -60 graus e alturas 30 e 60 graus para 1 PH e 10 PH; e no azimute 60 graus e altura 60 graus para 5 PV e 10 PV.

Tabela 23 - Comparativo médio da admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) - **GEOMETRIA** dos elementos de controle solar: **altura 30°** segundo os azimutes de estudo

	Externo	1 PH	Máx	Mín	10 PH	Máx	Mín
Φ médio (lm)	181.629*	4.687	5.637	4.204	22.133	35.145	15.375
T_{dh}	---	0,0315	---		0,1314	---	
	Externo	5 PV	Máx	Mín	10 PV	Máx	Mín
Φ médio (lm)	111.693	27.351	---		29.275	---	
T_{dh}	---	0,2428	---		0,2621	---	

* Valor médio do fluxo luminoso externo disponível verticalmente sem ECS (Sol + Céu) para altura 30 graus nos azimutes 0, 60 e - 60 graus.

Análise dos Resultados:

Observando-se a Tabela 23, identifica-se que o fluxo luminoso médio admitido na altura 30° apresenta um aumento de 472,22% quando comparado 1 placa horizontal com 10 placas horizontais, na mesma situação de proteção solar (sombreamento da abertura).

Por outro lado, quando comparada a situação de 5 placas verticais com 10 placas verticais, o aumento que ocorre é de 7,03%, na mesma situação de proteção solar (sombreamento da abertura).

Quando analisada a geometria dos quatro tipos de ECS em relação ao fluxo luminoso externo disponível em comparação com o admitido médio, observam-se reduções de 99,61% no caso de 1 PH; de 87,81% no caso de 10 PH; de 75,51% no caso de 5 PV; e de 73,78% no caso de 10 PV.

Tabela 24 - Comparativo Médio da Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) - **GEOMETRIA** dos elementos de controle solar: **altura 60°** segundo os azimutes de estudo

	Externo	1 PH	Máx	Mín	10 PH	Máx	Mín
Φ médio (lm)	69.377*	6.923	7.631	6.519	30.728	45.971	22.654
T_{dh}		0,1294	---		0,5048	---	
	Externo	5 PV	Máx	Mín	10 PV	Máx	Mín
Φ médio (lm)	37.251	14.656	----		14.259	----	
T_{dh}		0,3935	---		0,3827	---	

* Valor médio do fluxo luminoso externo disponível verticalmente sem ECS (Sol + Céu) para altura 60 graus nos azimutes 0, 60 e – 60 graus.

Análise dos Resultados:

Observando-se a Tabela 24, identifica-se que o fluxo luminoso médio admitido na altura 60° apresenta um aumento de 443,85% quando comparada 1 placa horizontal com 10 placas horizontais, na mesma situação de proteção solar (sombreamento da abertura).

Já quando comparada 5 placas verticais com 10 placas verticais, houve uma redução de 2,7%, na mesma situação de proteção solar (sombreamento da abertura).

Quando analisada a geometria dos quatro tipos de ECS em relação ao fluxo luminoso externo disponível comparado com o admitido médio, observam-se reduções de 90,02% no caso de 1 PH; de 55,70% no caso de 10 PH; de 60,65% no caso de 5 PV; e de 61,72% no caso de 10 PV.

Tabela 25 - Comparativo Médio Final da Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) - **GEOMETRIA** dos elementos de controle solar: **alturas 30° e 60°** segundo os azimutes de estudo

	Externo	1 PH	10 PH
Φ médio (lm)	125.503	5.805	26.430
	Externo	5 PV	10 PV
Φ médio (lm)	74.472	21.003	21.767

Análise dos Resultados:

Observando-se a Tabela 25, identifica-se que o fluxo luminoso admitido apresenta um aumento de 455,29% quando comparada 1 placa horizontal com 10 placas horizontais, na mesma situação de proteção solar (sombreamento da abertura).

Já quando comparada 5 placas verticais com 10 placas verticais, ocorre uma redução de 3,63%.

Quando analisada a geometria dos quatro tipos de ECS em relação ao fluxo luminoso externo disponível comparado com o admitido médio, observam-se reduções de 95,37% no caso de 1 PH; de 78,94% no caso de 10 PH; de 71,79% no caso de 5 PV; e de 70,77% no caso de 10 PV.

A geometria dos ECS com mesma eficiência de proteção solar (sombreamento das aberturas), proporciona variações na admissão de luz natural admitida, conforme identificado nos resultados anteriormente apresentados.

4.2.2 Fluxo Luminoso - Influência da Refletância dos Elementos de Controle Solar

Em relação à refletância dos elementos de controle solar e na espessura de peitoril e parede, com a variação de 75% para 20%, identificou-se uma enorme redução da admissão quantitativa de fluxo luminoso (luz natural), assim como na distribuição da luz para o ambiente interno.

Tabela 26 - Comparativo Médio Final da Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) - **REFLETÂNCIA** dos elementos de controle solar: **altura 60°** segundo os azimutes de estudo: 0°; 60°; -60° para 10 PH e 60° para 5 PV e 10 PV.

A) REFLETÂNCIA DE 75%	Externo	10 PH	Externo	5 PV	10 PV
Φ médio (lm)	69.377*	30.728	37.251	14.656	14.259
B) REFLETÂNCIA DE 20%		10 PH		5 PV	10 PV
Φ médio (lm)		10.250		5.663	5.532

* Valor médio do fluxo luminoso externo disponível verticalmente sem ECS (Sol + Céu) para altura 60 graus nos azimutes 0, 60 e – 60 graus.

Análise dos Resultados:

Na tabela 26 identifica-se que a variação de refletância de 75% para 20% (para 10 placas horizontais), resultou numa redução de 66,64% do fluxo luminoso admitido; já para 5 placas verticais e 10 placas verticais, resultou numa redução respectivamente de 61,36 e 61,20%.

Como esperado nestas situações de tipos de elementos de controle solar com diversas partes horizontais ou verticais, a influência da refletância (cores) é significativa.

4.2.3 Luminância Equivalente da Janela

A luminância equivalente da janela, caracterizadora da distribuição espacial da luz natural admitida através da abertura com os elementos de controle solar analisados, foi estudada com referência à Influência da geometria e da refletância dos elementos de controle solar e espessura de parede e peitoril.

Esta luminância equivalente foi calculada tendo como ponto de referência o centro da abertura de 2 x 2 m (ponto 0,0,0) localizada na base vertical da hemisfera, a partir da direção de cada vetor luz para o interior.

De acordo com os valores de iluminância identificados na superfície interior da hemisfera segundo à incidência de luz analisada (altura e azimuth), é calculada a luminância equivalente da janela de acordo com a contribuição de luz de cada ponto de iluminância medido, em função do seu respectivo ângulo sólido de contribuição.

Com base nos resultados encontrados nas situações 1 a 21, identificaram-se os valores de luminância equivalente da janela segundo cada situação de estudo (diferentes tipos de elementos de controle solar em diversas alturas e azimutes) quanto à influência da geometria dos elementos de controle solar – ECS e refletância (ECS e espessura de parede e peitoril).

Os resultados apresentados na forma de imagens do tipo *dxf* para leitura em programas do tipo *CAD* possibilitam análises dos mais diversos tipos, quanto à verificação da distribuição da luminância equivalente da janela, pela manipulação deste arquivo tipo *CAD*.

Dessa forma, o arquivo em *CAD* permite a visualização das mais diversas formas (vistas superior, inferior, laterais, fundos, em perspectiva, no modo sombreado), com ampliações visando à melhor compreensão de determinada situação quanto à distribuição espacial da luz admitida.

Neste documento, as situações de estudo 1 a 21 foram representadas na forma de imagens impressas, em que a luminância equivalente da janela foi apresentada num conjunto de quatro imagens em cada página tamanho A-4 (vista superior, vista lateral esquerda, vista frontal, perspectiva sombreada, legenda gráfica), com a identificação da incidência de luz de cada situação de análise (altura e azimuth). A representação gráfica da distribuição espacial da luminância equivalente da janela também foi realizada segundo as coordenadas azimuth e altura no plano XZ da abertura, possibilitando a identificação das luminâncias em diversas situações.

Parte dos resultados encontrados de luminância equivalente da janela são representativos de altos valores junto ao plano da janela (na base vertical da hemisfera que contém a abertura), no sentido da parte superior e inferior e, para os dois lados a partir do ponto central da janela, por causa da influência do efeito cosseno. Esses elevados valores fisicamente não são adequados, sendo resultado da aplicação do conceito da luminância equivalente da janela e dos limites matemáticos aplicados da forma proposta e seu cálculo pelo programa.

No conjunto das 21 situações de avaliação da luminância equivalente da janela, foram identificadas algumas situações excepcionais, a seguir descritas:

- Nas situações 5 (10 PH com altura 30° e azimuth 60°) e 18 (10 PH com altura 60°, azimuth 60° e refletância de 20%), foram identificadas uma concentração de valores (pico) com as maiores luminâncias.

- Nas situações de incidência da fonte de luz oposta à esses azimutes (situação 6 de 10 PH com altura 30° e azimute -60°; situação 19 de 10 PH com altura 60°, azimute -60° e refletância de 20%), essa concentração de valores em cada situação não foi identificada.

A concentração de valores antes identificada pode ser devido a alguma falha de ajuste com necessidade de maior precisão quanto ao total bloqueio da luz solar direta (definição geométrica do elemento de controle solar - ECS e a respectiva altura e azimute de análise para o ECS analisado). Também pode ser devido a algum efeito das inter-reflexões da luz entre as placas, ou devido a algum erro de cálculo da aplicação do conceito de luminância equivalente da janela pelo programa utilizado.

A mesma situação de concentração de valores foi identificada nas situações 13 (5 PV com altura 30° e azimute 60°), 14 (10 PV com altura 30° e azimute 60°), 15 (5 PV com altura de 60° e azimute 60°), 16 (10 PV com altura 60° e azimute 60°), 20 (5 PV com altura 60°, azimute 60° e refletância de 20%) e 21 (10 PV com altura 60°, azimute 60° e refletância de 20%). Nessas situações existe total bloqueio da luz solar direta, logo a concentração de valores é devido a algum efeito das inter-reflexões da luz entre as placas, ou devido a algum erro de cálculo da aplicação do conceito de luminância equivalente da janela pelo programa.

Essas concentração de valores (pico) com as maiores luminâncias, somente foram identificadas nas situações com admissão de luz refletida (situações 10 PH, 5 PV, 10 PV), e em ângulos de incidência da fonte de luz (azimutes) oblíquos a abertura.

Assim, os resultados analisados de luminância equivalente da janela apresentam em parte limitações, pois em algumas situações o comportamento da distribuição espacial da luz natural admitida apresentou parte dos resultados não definitivamente explicável.

5 CONCLUSÕES

O trabalho realizado desenvolveu um método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar.

A questão da admissão de luz natural através de aberturas (fluxo luminoso admitido; luminância equivalente) foi estudada com utilização de um ambiente virtual do tipo hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz, por meio do uso do programa de simulação computacional APOLUX 1.0. Nesse ambiente virtual, foi analisada uma situação de referência, comparativamente a outras de abertura com diversos elementos de controle solar.

Esta hemisfera oca com base vertical e abertura como fonte de luz natural caracteriza-se como um goniofotômetro virtual, similar aos identificados na revisão de literatura. Por meio deste modelo, foi possível avaliar a quantidade (fluxo luminoso) e a distribuição espacial (luminância equivalente) da luz admitida sob variação da geometria dos elementos de controle solar – ECS, refletância nos ECS e na espessura de peitoril e parede.

Este método desenvolvido a partir de um ambiente virtual de estudo apresenta vantagens em relação aos métodos experimentais de laboratório, como o menor tempo de análise, menor custo e facilidade de acesso aos demais pesquisadores interessados.

5.1 Considerações Finais

A análise foi realizada para quatro tipos de geometria de elementos de controle solar sobre a abertura (1 placa horizontal; 10 placas horizontais; 5 placas verticais; 10 placas verticais), para a situação de refletância dos elementos de controle solar de 75% e de 20%, nas situações de incidência solar de azimute 0, 60 e -60 graus, e de altura solar de 30 e 60 graus.

Na revisão de literatura, identificou-se que a situação geométrica de representação de um ambiente interno como uma hemisfera oca é um modelo de estudo ideal para a determinação da distribuição espacial do fluxo luminoso admitido, (ANDERSEN e DE BOER, 2006), como o ambiente virtual desenvolvido nesta tese.

Foram analisados diferentes sistemas de aberturas, inicialmente sem nenhum elemento de controle solar e posteriormente adicionando diversos tipos de elementos de controle solar, sendo determinado o fluxo luminoso admitido (quantidade de luz admitida) e a luminância equivalente da janela representativa da direção da iluminação a partir do centro da abertura para o interior da hemisfera (distribuição espacial da luz).

Considerando a definição de modelos em *CAD* no formato *3 D Face*, é possível simular com o programa APOLUX o comportamento luminoso de diferentes tipos de configuração geométrica de elementos de controle solar, possibilitando estudos paramétricos diversos. Percebeu-se nos estudos realizados que a resolução das questões luminosas em aberturas com elementos de controle solar não é de fácil resolução, tanto em nível da compreensão conceitual dos fenômenos envolvidos (insolação e luz natural), em nível de resolução do projeto de arquitetura visando à qualidade ambiental, como em nível de ferramentas para esta resolução, com os métodos e procedimentos apresentados na revisão de literatura.

Dos métodos e procedimentos identificados na revisão de literatura, assim como pelo trabalho de simulação realizado, notou-se que um dos caminhos possíveis para a adequada caracterização do comportamento luminoso das aberturas com obstruções (como os elementos de controle solar), é o de aprimoramento dos programas de simulação da luz natural, com uso de algoritmos que possam melhor representar a situação física real. Também existe a necessidade de validação dos programas que apresentam resultados confiáveis; a definição de uma geração de programas de simulação computacional do comportamento da luz integrados aos programas *CAD*, permitindo ao arquiteto efetivamente simular suas idéias de projeto quando da realização deste.

Em relação aos resultados encontrados por meio da simulação computacional da luz natural com uso do programa APOLUX, estes foram analisados sob dois aspectos: influência da geometria dos elementos de controle solar (ECS) e influência da refletância dos ECS.

Os resultados analisados demonstraram a variação esperada (redução e/ou aumento) da admissão de luz natural para o interior. Quanto à sua distribuição para o hemisfério interior quando da adição de diferentes tipos de elementos de controle solar (1 PH; 10 PH; 5 PV; 10 PV) na janela desimpedida e com a mudança de refletância dos ECS (75% e 20%), parte dos resultados apresentaram situações

excepcionais, como no caso da concentração (pico) de valores de luminância. No entanto, mesmo nestas situações o comportamento geral da distribuição espacial da luz apresentou resultados coerentes, com tendências de direcionalidade da luz esperadas segundo cada posição da fonte de luz.

Assim, o método desenvolvido apresentou-se como viável aos objetivos propostos de avaliar a admissão quantitativa de luz natural (fluxo luminoso que atravessou a janela) e sua distribuição espacial interior (segundo a luminância equivalente da janela).

5.2 Limitações

O método desenvolvido é comparativo de uma situação de fluxo luminoso e luminância equivalente da janela com outras situações de análise, a partir de uma inicial de referência, no caso a abertura livre, sem elementos de controle solar e vidro.

A luminância equivalente da janela foi calculada com base num ponto central da abertura de 2 x 2 m, como forma de identificar as direções de vetor luz para o interior da hemisfera, segundo os valores de iluminância identificados internamente. Essa simplificação a partir do ponto central da janela na direção do interior da hemisfera representa a distribuição espacial da luz admitida. Na situação física real, existe um conjunto de pontos na abertura em relação aos pontos no interior da hemisfera e vice-versa.

Em virtude do conceito adotado de luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo programa de simulação, o efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido devido à admissão de luz nos ângulos próximos de 90 graus foi superestimado, numa distorção dos valores que identifica limites de aplicação do conceito adotado para o modelo hemisfera oca.

O programa de simulação APOLUX utilizado considera as superfícies opacas como perfeitamente difusoras da luz, situação esta não encontrada na maior parte dos materiais, como no caso dos elementos de controle solar, espessura de parede e peitoril, considerados nos modelos de simulação adotados. Para a representação do vidro da janela, o programa considera como uma superfície transmissora especular.

Apesar de o Programa APOLUX não considerar a variação da transmitância em função do ângulo de incidência da luz no vidro, esta limitação não é representativa para o estudo realizado, pois foram adotados ângulos de incidência solar de análise de 0 e 60 graus que pouco sofrem dessa variação, mais acentuada a partir de 60 a 90 graus.

O programa APOLUX não simula superfícies opacas com reflexão especular e com reflexão mista, assim como superfícies transmissoras difusas, situações estas existentes em parte dos materiais das edificações.

A utilização do programa APOLUX, assim como do módulo especial preparado para o trabalho desta tese, carece de melhor relação (*interface*) com o usuário. O domínio na utilização do programa foi gradativo, a partir do seu uso e constante troca de idéias, resolução de dúvidas, esclarecimentos junto ao autor do programa, situação esta que permitiu os estudos realizados.

Existe a necessidade de instruções de utilização claramente identificadas num tutorial, objetivando diminuir as dúvidas iniciais do usuário, permitindo resolver questões com maior rapidez, sem perder a confiabilidade dos procedimentos adotados.

O tempo de processamento para finalização das simulações da admissão do fluxo luminoso e posterior luminância equivalente da janela é grande, aproximadamente 6 h para cada situação analisada. Esse elevado tempo de processamento em parte ocorreu devido às especificações próprias do modelo virtual hemisfera oca com base vertical, abertura com vidro, assim como dos elementos de controle solar adicionados; para situações de configuração geométrica mais simples, certamente seria reduzido esse tempo total de processamento.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Realizar estudos de validação do programa utilizado, proporcionando comparações entre ambientes medidos e simulados, com a identificação das variações existentes.
- Simular outras configurações geométricas complexas de elementos de controle solar de aberturas, aumentando o conjunto de dados comparativos já realizados neste trabalho.

- Realizar a avaliação dos ganhos de calor solar admitidos em função da luz natural transmitida para o interior da hemisfera, possibilitando estabelecer diferentes relações entre quantidade de luz e calor admitidos, segundo cada situação já analisada e para outros estudos paramétricos.

- Considerar na análise a variação espectral da luz natural admitida, de forma a qualificar ainda mais os resultados existentes, tanto quanto ao fluxo luminoso admitido como a luminância equivalente da janela.

- Investigar mais profundamente a questão da distribuição espacial da luz refletida para o interior de acordo com a incidência de luz oblíqua à abertura.

- Corrigir a distorção identificada devido o efeito cosseno no cálculo da luminância equivalente da janela, na faixa de ângulos de emissão de luz próximos aos 90 graus, tanto no sentido do hemisfério superior como inferior, como para os lados direito e esquerdo, num ajuste a ser implementado no Módulo Especial do Programa APOLUX.

- Melhorar a *interface* do programa com o usuário, para que possa ser utilizado por usuários comuns, como arquitetos, engenheiros, entre outros, definindo instruções mais claras e objetivas da utilização do programa, assim como melhoria da *interface* gráfica do programa, com o intuito de esclarecer algumas questões não apresentadas claramente ao iniciante.

- Disponibilizar o Programa APOLUX a um maior grupo de usuários-pesquisadores (como foi realizado no caso do autor desta tese), procurando identificar falhas diversas, procedimentos a serem aprimorados, melhorias possíveis, entre outras sugestões, re-alimentando o processo de melhoria gradual do programa.

- Estudar a possibilidade de o programa funcionar como um módulo acoplado a um programa *CAD*, ou estabelecer critérios bem definidos de projeção em *CAD* que permitam a facilidade de integração entre estes dois tipos de programas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, Marilynne, DE BOER, Jan. Goniophotometry and assessment of bidirectional photometric properties of complex fenestration systems. *Energy and Buildings*, Vol. 38, pp.836-848, 2006.
- BASSO, Admir, ARGOUT, Daniel Matoso. Avaliação do desempenho de sistemas de controle de insolação e sua interferência na iluminação natural. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais. Salvador, BA, 1997.
- BASSO, Admir, SARDEIRO, Paula Silva. Avaliação do desempenho das aberturas laterais de conjuntos habitacionais visando o conforto ambiental tendo como metodologia a APO. In: NUTAU 2002. NUTAU. FAU-USP: São Paulo, 2002.
- BAUMAN, F. S., PLACE, J. W., ANDERSSON, B. The experimentally measured performance of a linear roof aperture daylighting system. *ASHRAE Transactions*. Vol. 93, Part. 1, 1987.
- BITTENCOURT, Leonardo. Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos. Maceió: EDUFAL, 1988. 92p.
- BODART, M., De HERDE, A. Global energy savings in office buildings by use of daylighting. *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp.421-429, 2002.
- CLARO, Anderson. Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 1998.
- CLARO, A., PEREIRA, F. O. R., AGUIAR, G. P. Desenvolvimento do Protótipo do Software LuzSolar para Análise e Projeto de Iluminação Natural em Arquitetura e Urbanismo. 1º Fórum de Pesquisa & Desenvolvimento da CELESC, Florianópolis/SC, 2003.
- CORBELLA, O. D. E CASTANHEIRA, R. G. (2001). Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas Sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35. °. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais. São Pedro, SP.
- CORBELLA, Oscar, MAGALHÃES, Maria Amália. Calor simbólico. *Revista AU* 92, out/nov 2000.

- CORBELLA, Oscar e YANNAS, Simos. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos. Conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- DE BOER, Jan. Modelling indoor illumination by complex fenestration systems based on bidirecional photometric data. *Energy and Buildings*, Vol. 38, pp.849-868, 2006.
- DEL RIO, Vicente. A Criatividade e os Ventos Dominantes na Arquitetura - Cadernos de Arquitetura e Urbanismo - Série Debates 1. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1996.
- FADZIL, Sharifah Fairuz Syed, SIA, Sheau-Jiunn. Sunlight control and daylight distribution analysis: the KOMTAR case study. *Building and Environment*. Vol. 39, pp. 713-717, 2004.
- FONTOYNONT, Marc. Daylight performance of buildings. James e James, 1999.
- GRIMME, F. W., LAAR, Michael. Tropical office buildings – Different impacts on energy efficiency. PLEA'99 Conference, 1999.
- HONG, Tianzhen, CHOU, S. K., BONG, T. Y. Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment*. Vol. 35, pp.347-361, 2000.
- HOPKINSON, Ralph Galbraith; PETHERBRIDGE, P; LONGMORE, J. Iluminação natural. 2. ed. Lisboa : Fundação C. Gulbenkian, 1980. 776p.
- IEA. International Energy Agency. Measurement of luminous characteristics of daylighting materials. A Report of IEA SHCP Task 21/ECBCS Annex29, 1999.
- KAPUR, Nikhil K. A comparative analysis of the radiant effect of external sunshades on glass surface temperatures. *Solar Energy*. Vol. 77, pp. 407-419, Pergamon, 2004.
- KESSEL, Jeffrey, SELKOWITZ, Steve. Integrating sphere measurements of directional-hemispherical transmittance of window systems. *Journal of IES*, October 1984.
- KISCHKOWEIT-LOPIN, Martin. An overview of daylighting systems. *Solar Energy* Vol. 73. Elsevier Science Ltd. Great Britain, 2002.
- KRAGH, M., COLOMBARI, M., ZOBEC, M. Advanced façades and HVAC systems: preliminary results of full-scale monitoring. EPIC 2002 AIVC – The 3rd Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings. Lyon, France. October 2002.

- KREMER, Adriano. A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
- KUHN, Tilmann E.; BÜHLER, Christopher; PLATZER, Werner J. Evaluation of overheating protection with sun-shading systems. *Solar Energy*. Vol. 69, Nos 1-6, pp. 59-74, Pergamon, 2000
- LAAR, Michael. Light and shadow – an analysis of daylighting and shadowing systems for the tropics. In: PLEA 2001. The 18TH International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis SC, 2001.
- LABAKI, Lucila Chebel e BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo. Avaliação de conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas-SP. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais. São Pedro, SP, 2001
- LAM, Joseph C. e LI, Danny H. W. An analysis of daylighting and solar heat for cooling-dominated office buildings. *Solar Energy*. Vol. 65, No. 4, pp. 251-262, Pergamon, 1999.
- LBNL. Facilities. The Bidirectional Radiometric Scanner. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. Disponível em <http://windows.lbl.gov/facilities/radiometer/radiometer.html>, 2004.
- LEE, E. S., DiBARTOLOMEO, D. L., SELKOWITZ, S. E. Thermal and daylighting performance of an automated venetian blind and lighting system in a full-scale private office. *Energy and Buildings*, Vol. 29, pp.47 -63, 1998.
- LEMES, Diego Jaccques, PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Influência da configuração de átrios para iluminação dos espaços adjacentes em Florianópolis, Brasil. In: VIII ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais. Maceió, Alagoas, 2005.
- LITTLEFAIR, Paul. Daylighting and solar control in the building regulations. UK: BRE, 1999.

- MAAMARI, Fawaz, ANDERSEN, Marilyne, BOER, Jan de, CARROLL, William, DUMORTIER, Dominique, GREENUP, Phillip. Experimental validation of simulation. *Energy and Buildings*, Vol. 38, pp.878-889, 2006.
- MACÊDO, Catharina Cavalcante de. Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol. Florianópolis. 135 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- MCCLUNEY, R. Determining solar radiant heat gain of fenestration systems. *Passive Solar Journal*, Vol. 4, no. 4, pp 439-487, 1987.
- MOORE, Fuller. Concepts and practice of architectural daylighting. New York : Van Nostrand Reinhold, 1991.
- OLGYAY, Victor. Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963.
- OLGYAY e OLGYAY. Solar control & shading devices. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957.
- PAPAMICHAEL, K.M, SELKOWITZ, S. E. Simulating the luminous and thermal performance of fenestration systems. *Lightin Design + Application*/October, 1987.
- PAPAMICHAEL, K., KLEMS, J., SELKOWITZ, S. Determination and application of bidirecional solar-optical properties of fenestration systems. 13th National Passive Solar Conference. Massachusetts Institute of Technology. LBL-25124, March 1988.
- PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Iluminação natural no ambiente construído. Gramado: ANTAC, 1995. 39p. Curso ministrado durante o III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído.
- PEREIRA, F. O. R. Uma metodologia para indicações de ocupação do ambiente urbano: controle da obstrução do sol e da abóbada celeste". Monografia para Concurso de Professor Titular- Depto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 66 p., 1994.
- PLACE, W.; FONTOYNONT, M.; CONNER, C.; KAMMERUD, R.; ANDERSON, B.; BAUMAN, F.; CARROL, W.; HOWARD, T.; METROL, A.; WEBSTER, T.. The predicted impact of roof aperture design on energy performance of office buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 6, pp.361-373, 1984.

- ROBBINS, Claude L. Daylighting: design and analysis. New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.
- ROJAS, D. ; SAN JUAN, G; ROSENFELD, E. Protección solar en la edificación: una propuesta tipológica. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais. Fortaleza, CE, 1999.
- SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de, LEMES, Diego Jaccques, PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay, CLARO, Anderson. Avaliação de desempenho do Apolux como programa de simulação de iluminação natural. In: VIII ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais. Maceió, Alagoas, 2005.
- TAYLOR. Ian. The application of sustainable design principles. Case study: New operations Centre for Wessex Water, Bath. Proceedings of PLEA 2000, Cambridge, UK, 2000.

APÊNDICES

No item 1 a seguir, é apresentado o conjunto dos resultados de fluxo luminoso nas situações individuais de simulação de cada tipo de ECS, desde a situação 1 (já apresentada no capítulo 4) até 21.

No item 2, são apresentados os resultados e a análise individual de luminância equivalente da janela para cada uma das situações 1 a 21, com as imagens do tipo *dxr* e do tipo 2 D e 3 D.

No item 3, é apresentado um modelo de planilha de dados de iluminância no plano do vidro externo (plano número 600) do modelo hemisfera oca com base vertical, gerada como arquivo do tipo txt pelo Programa APOLUX – Módulo Luz Solar, utilizada para o cálculo do fluxo luminoso.

Em seguida, no item 4, é apresentado um modelo de planilha de dados de luminância gerada como arquivo do tipo txt pelo Programa APOLUX – Módulo Luz Solar.

1. Resultados de Fluxo Luminoso para Situações Individuais 1 a 21

Adiante seguem as situações individuais dos resultados de fluxo luminoso, identificando para os tipos de elementos de controle solar (1 PH; 10 PH; 5 PV; 10 PV) a influência da GEOMETRIA (situações 1 a 16) e da REFLETÂNCIA (situações 17 a 21).

Tabela 27- Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 1

SITUAÇÃO 1: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): 1PH de 3,466m							
Espessura de parede e peitoril: 0,15m Refletância dos ECS: 75%							
ALTURA 30° AZIMUTE 0°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
326.818	307.263 (94,01%)	1 PH	6.434	2,02	5.469	1,72	0,0172

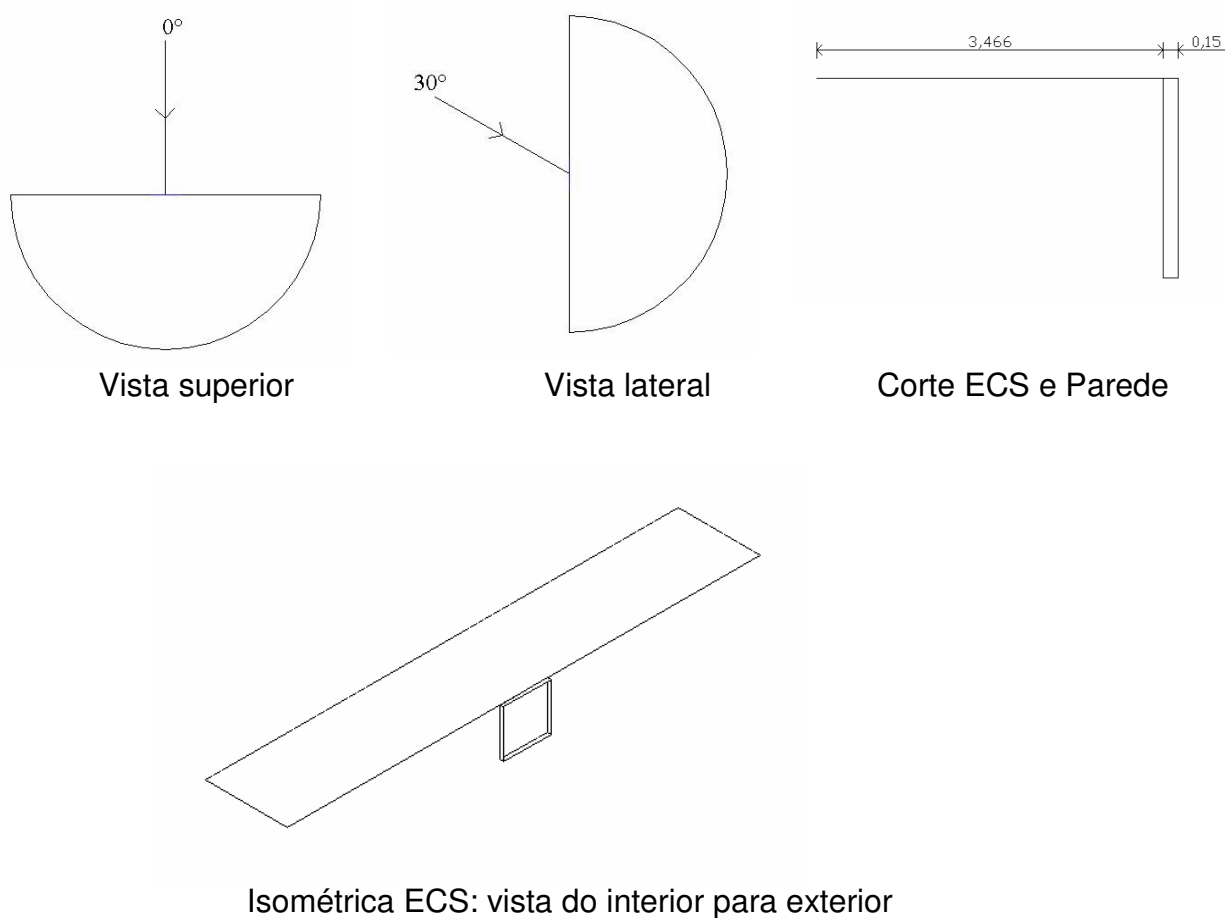
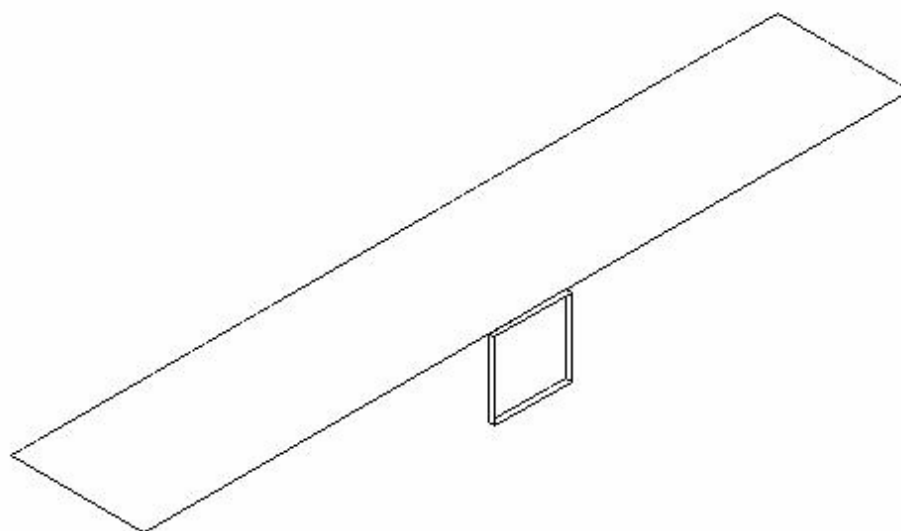
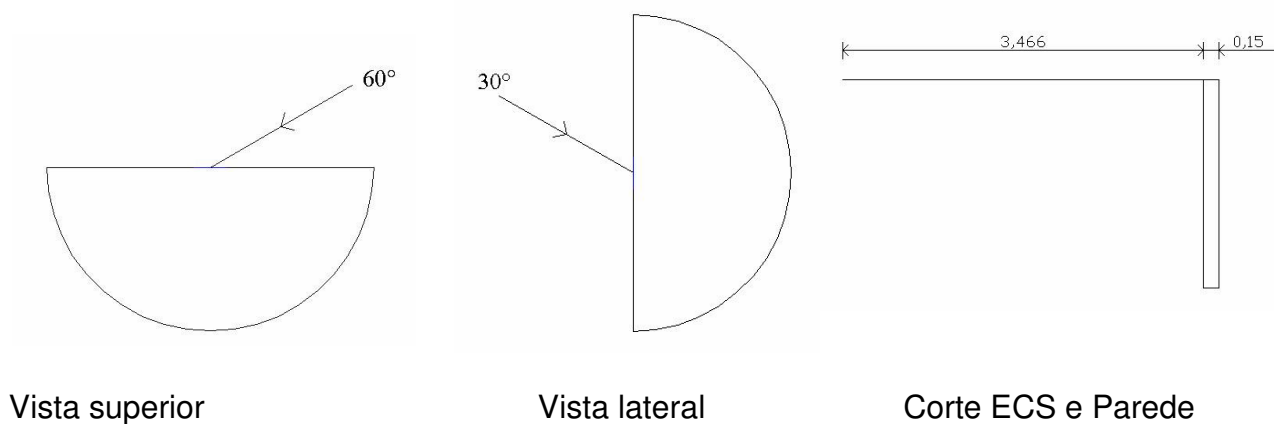


Figura 76 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise - situação 1

Tabela 28 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 2**SITUAÇÃO 2:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **1PH** de **3,466m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
111.693	96.041 (85,98%)	1 PH	4.967	4,45	4222	3,78	0,0378

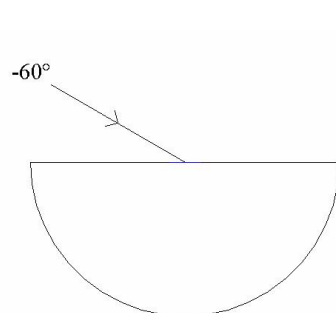


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

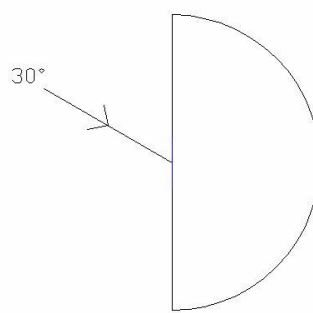
Figura 77 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise- situação 2

Tabela 29 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) – Situação 3**SITUAÇÃO 3:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **1PH** de **3,466m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

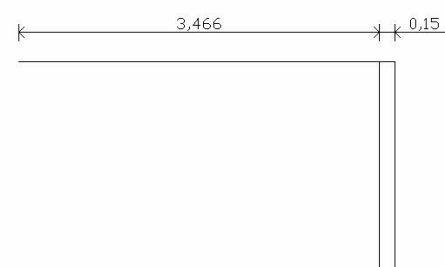
ALTURA 30° AZIMUTE - 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%		%	
106.378	90.786 (85,34%)	1PH	4.945	4,65	4204	3,95	0,0395



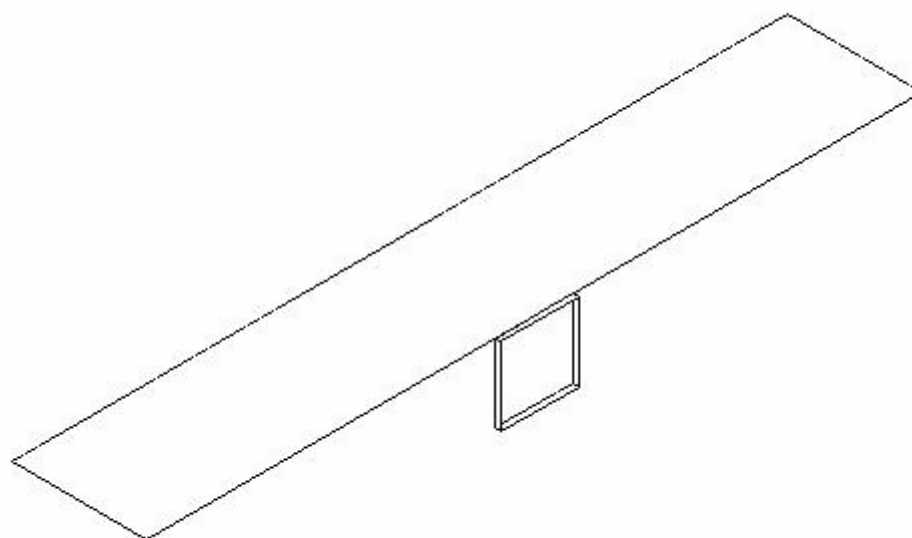
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede



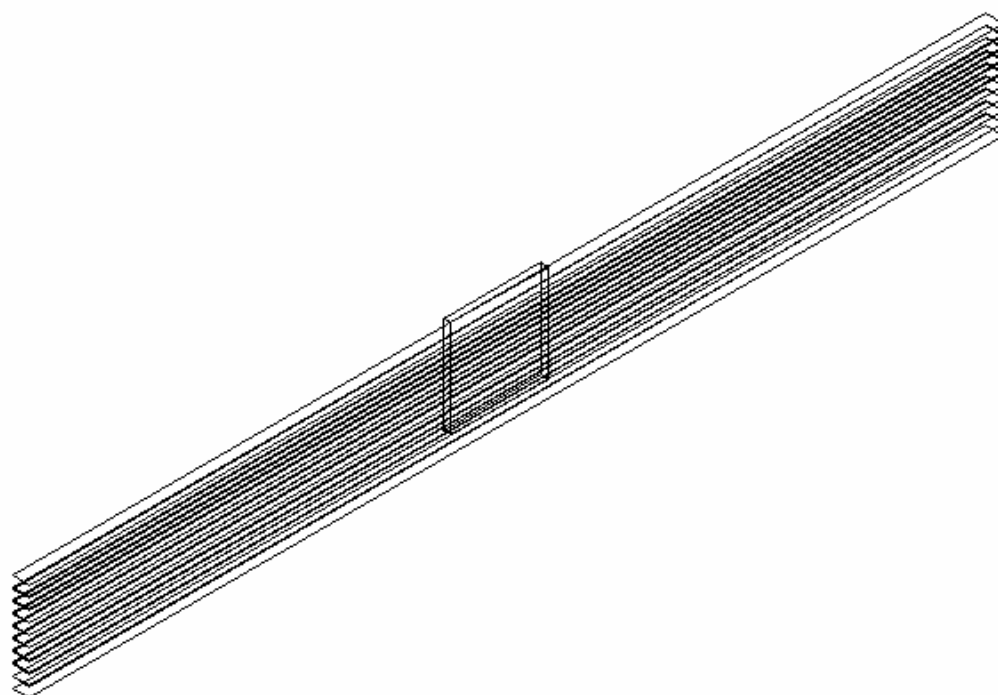
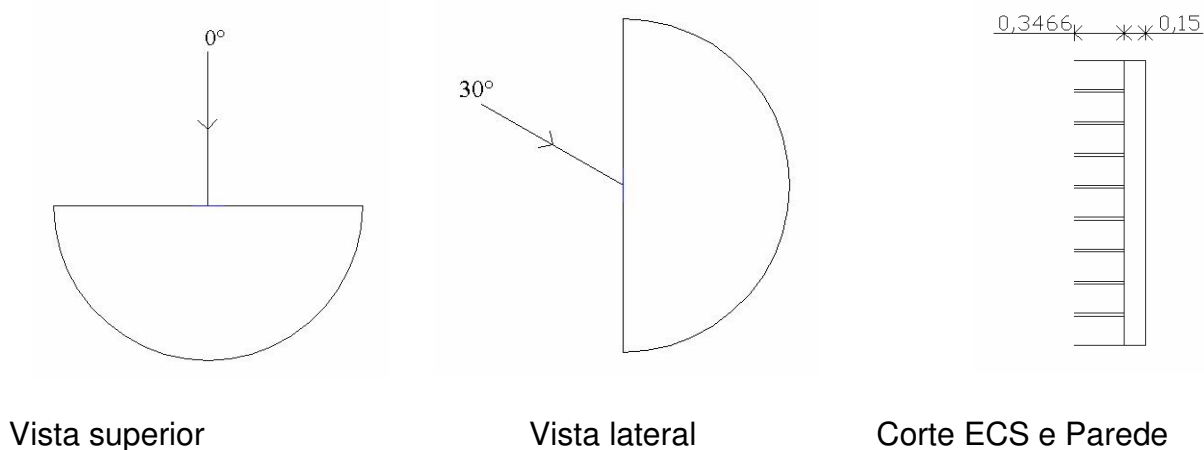
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 78 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise - situação 3

Tabela 30 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 4

SITUAÇÃO 4: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,3466m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 0°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T _{dh}
			lm	%	lm	%	
326.818	307.263 (94,01%)	10PH	41.347	12,65	35.145	10,75	0,1075

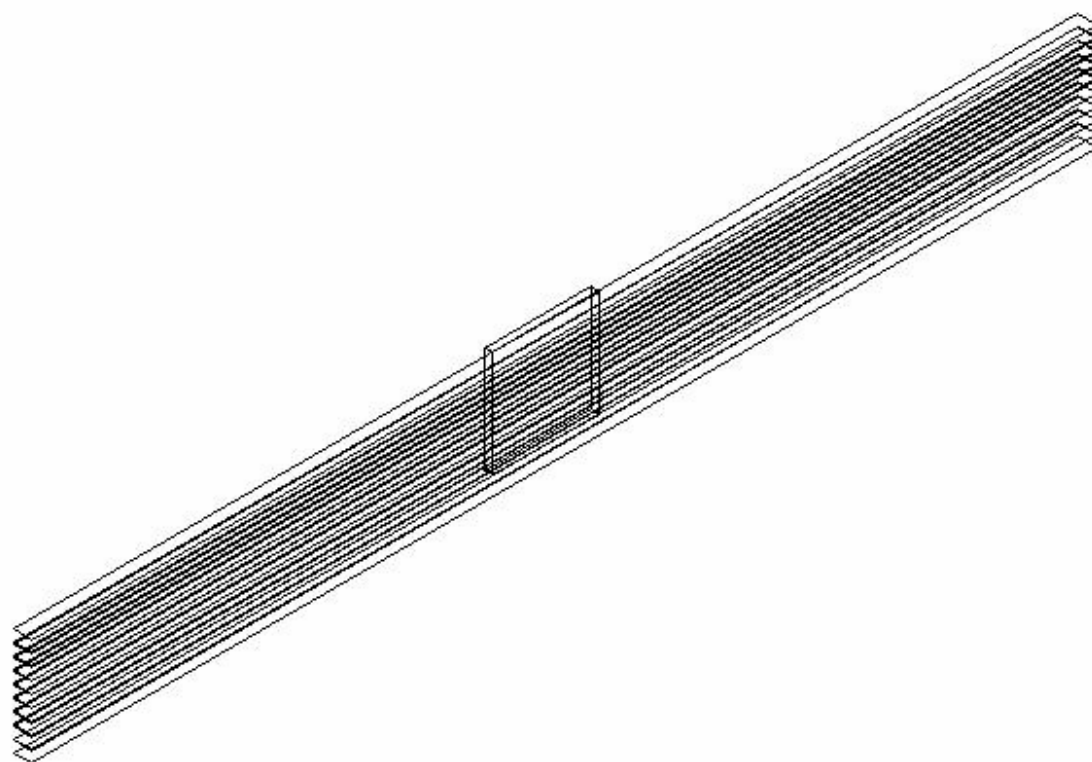
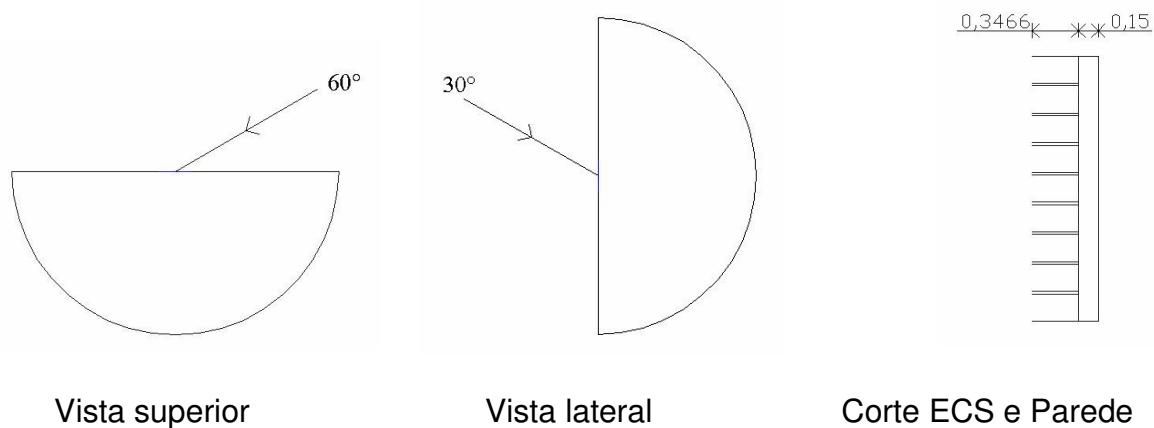


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 79 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 4

Tabela 31 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 5**SITUAÇÃO 5:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,3466m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T _{dh}
			lm	%	lm	%	
111.693	96.041 (85,98%)	10PH	18.089	16,19	15.375	13,76	0,1376



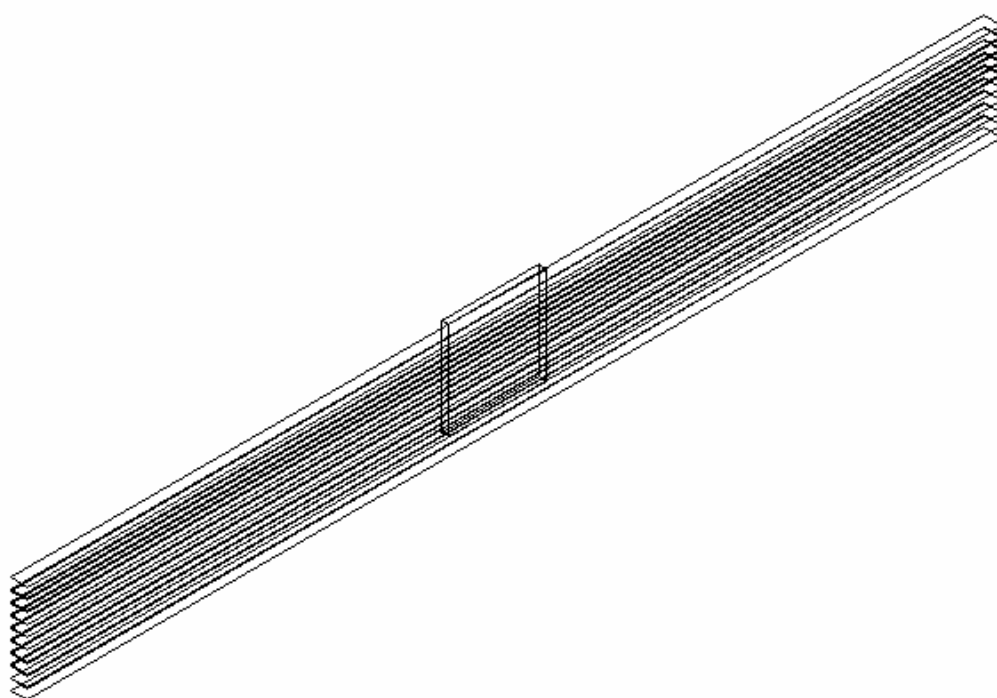
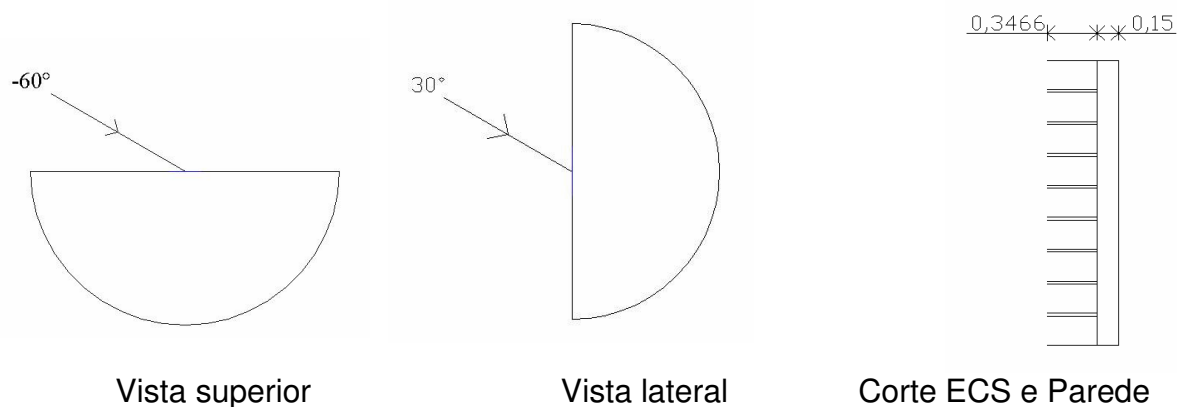
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 80 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 5

Tabela 32 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 6

SITUAÇÃO 6: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,3466m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE - 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T _{dh}
			lm	%	lm	%	
106.378	90.786 (85,38%)	10PH	18.682	17,56	15.880	14,92	0,1492

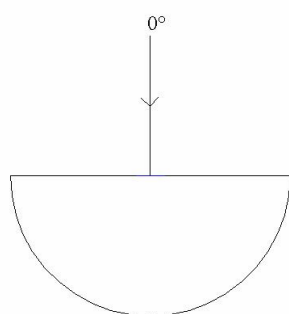


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

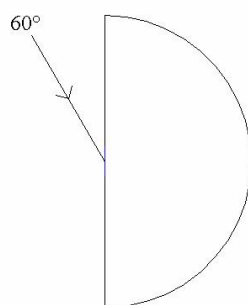
Figura 81 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 6

Tabela 33 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 7**SITUAÇÃO 7:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **1 PH** de **1,154m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

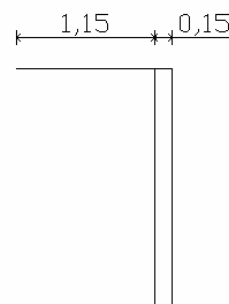
ALTURA 60° AZIMUTE 0°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
127.805	111.597 (87,31%)	1PH	8.977	7,02	7.631	5,97	0,0597



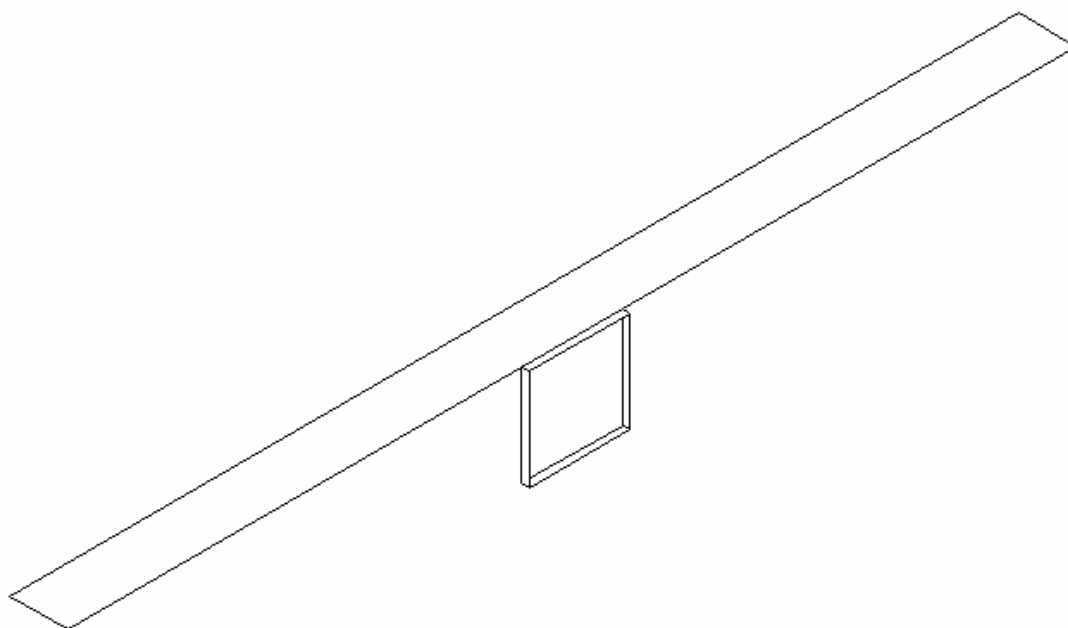
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

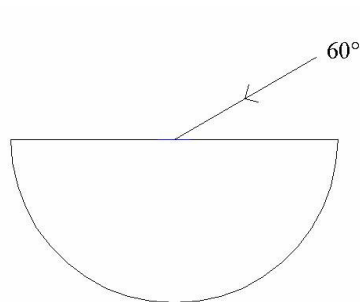


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

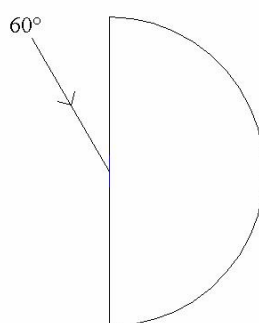
Figura 82 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise - situação 7

Tabela 34 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 8**SITUAÇÃO 8:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **1 PH** de **1,154m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

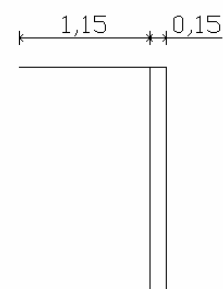
ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	1 PH	7.669	20,59	6.519	17,50	0,1750



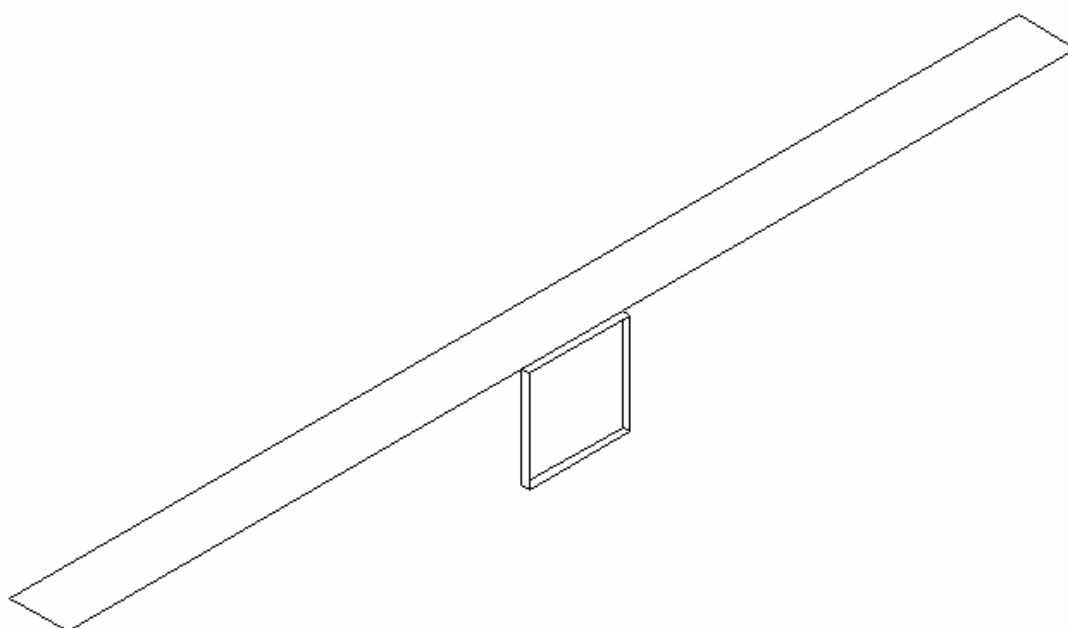
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

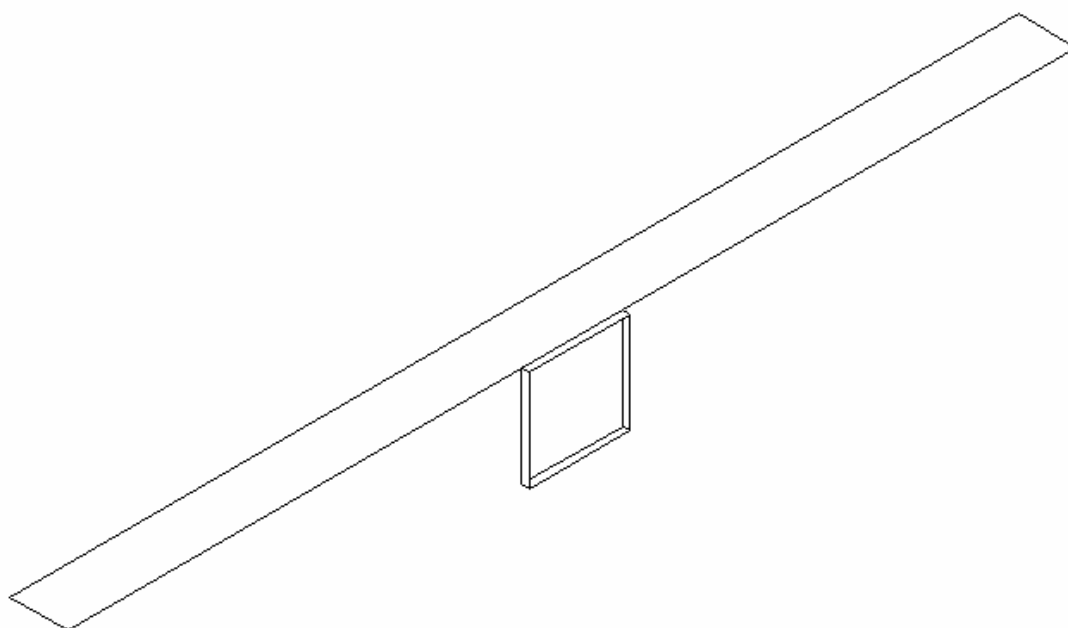
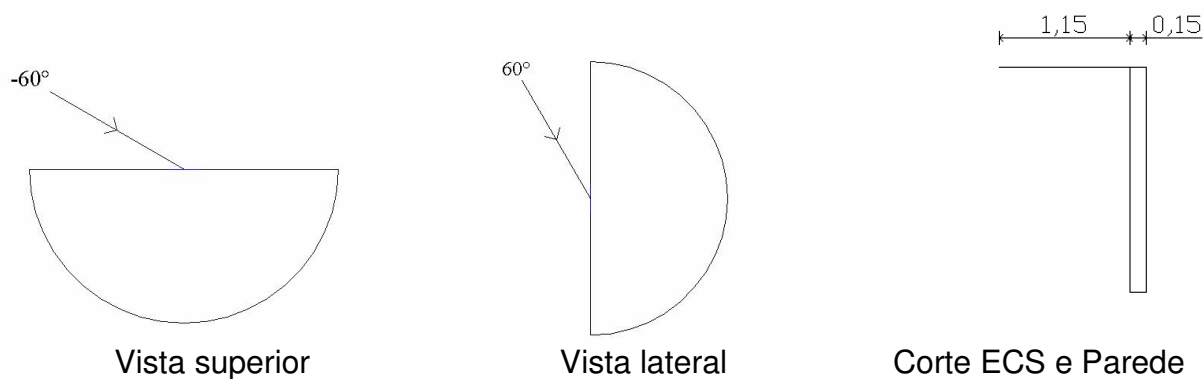


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 83 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise - situação 8

Tabela 35 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 9**SITUAÇÃO 9:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **1 PH** de **1,154m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE - 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
43.077	29.037 (67,40%)	10PV	7.788	18,08	6.619	15,37	0,1537



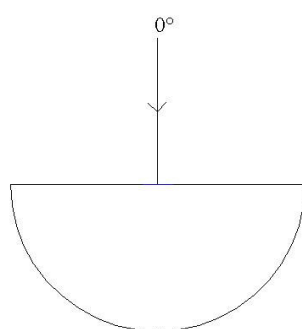
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 84 – Incidência de luz, corte e isométrica de 1 placa horizontal com 20 m de comprimento sobre a janela, como uma marquise - situação 9

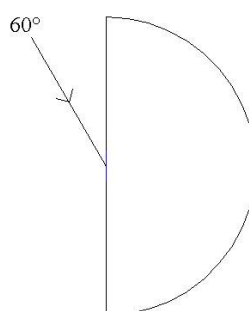
Tabela 36- Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) – Situação 10

SITUAÇÃO 10: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

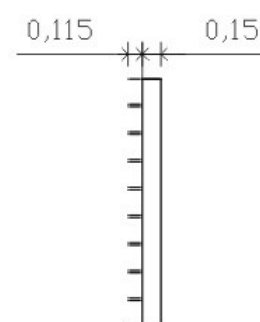
ALTURA 60° AZIMUTE 0°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
127.805	111.597 (87,31%)	10PH	54.083	42,31	45.971	35,96	0,3596



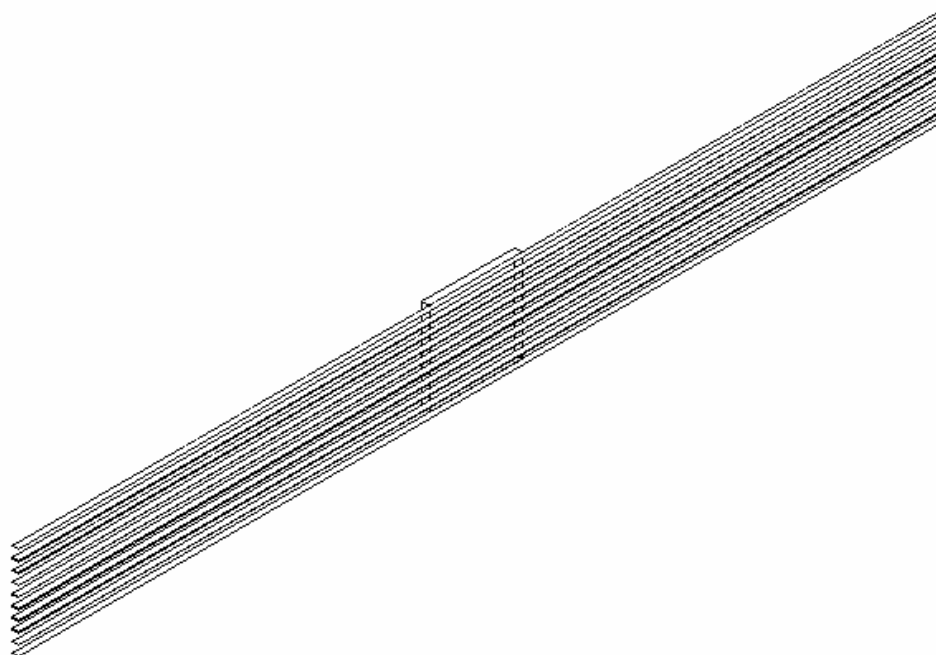
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede



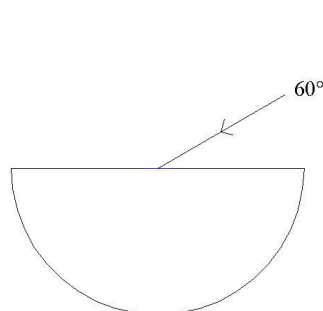
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 85 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 10

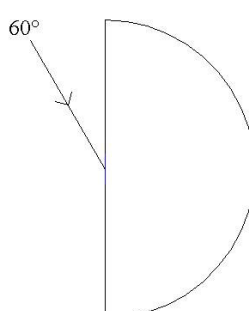
Tabela 37 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 11

SITUAÇÃO 11: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

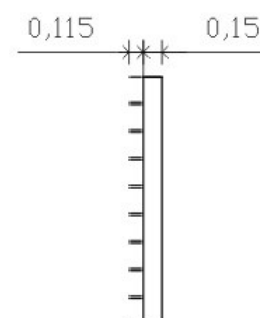
ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	10 PH	26.652	71,54	22.654	60,81	0,6081



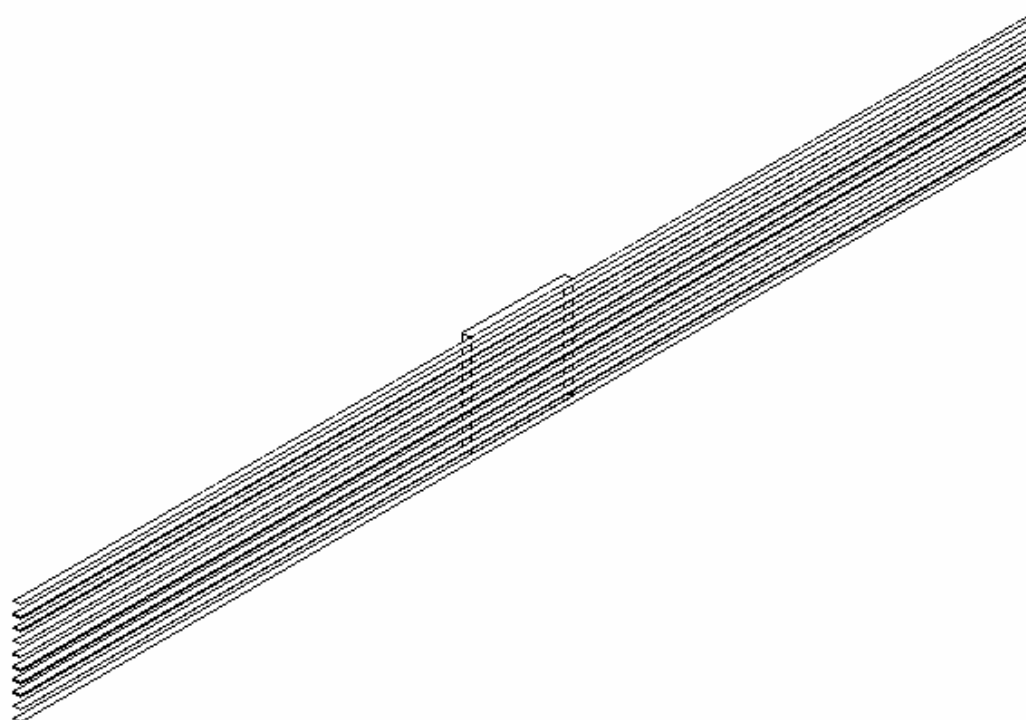
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

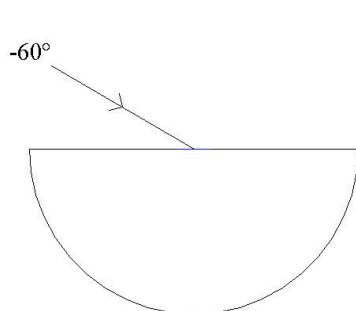


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

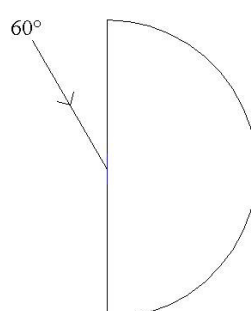
Figura 86 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 11

Tabela 38 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 12**SITUAÇÃO 12:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,115m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

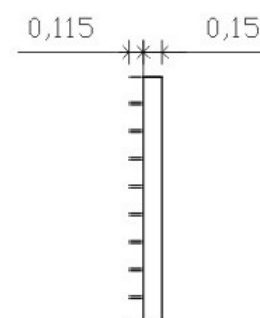
ALTURA 60° AZIMUTE - 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
43.077	29.037 (67,40%)	10 PH	27.718	64,34	23.560	54,69	0,5469



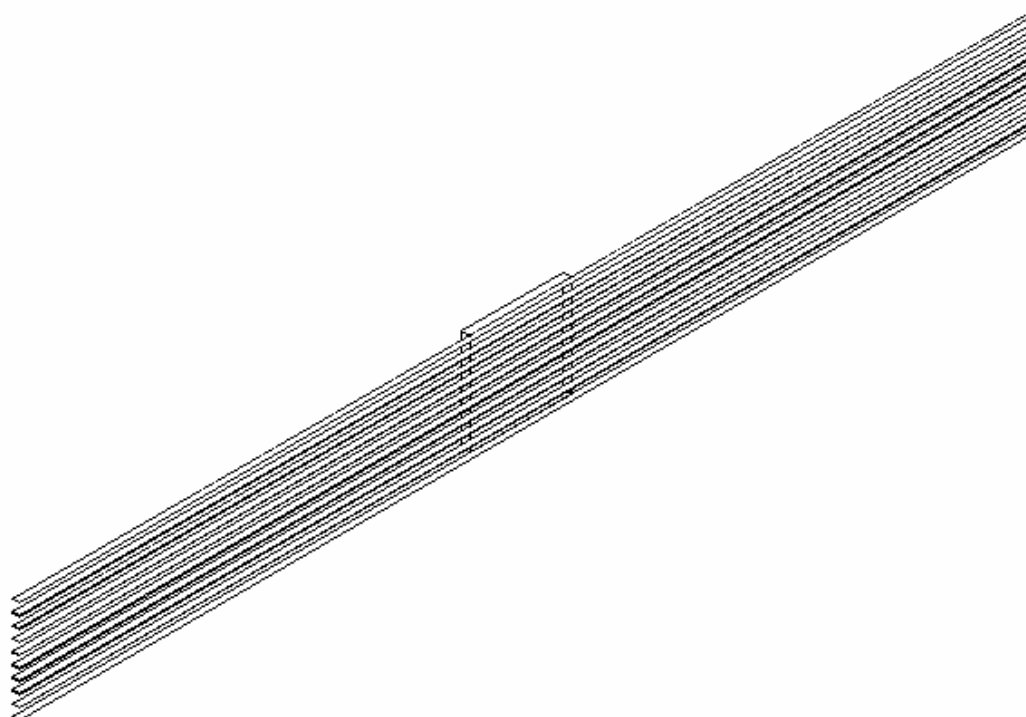
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede



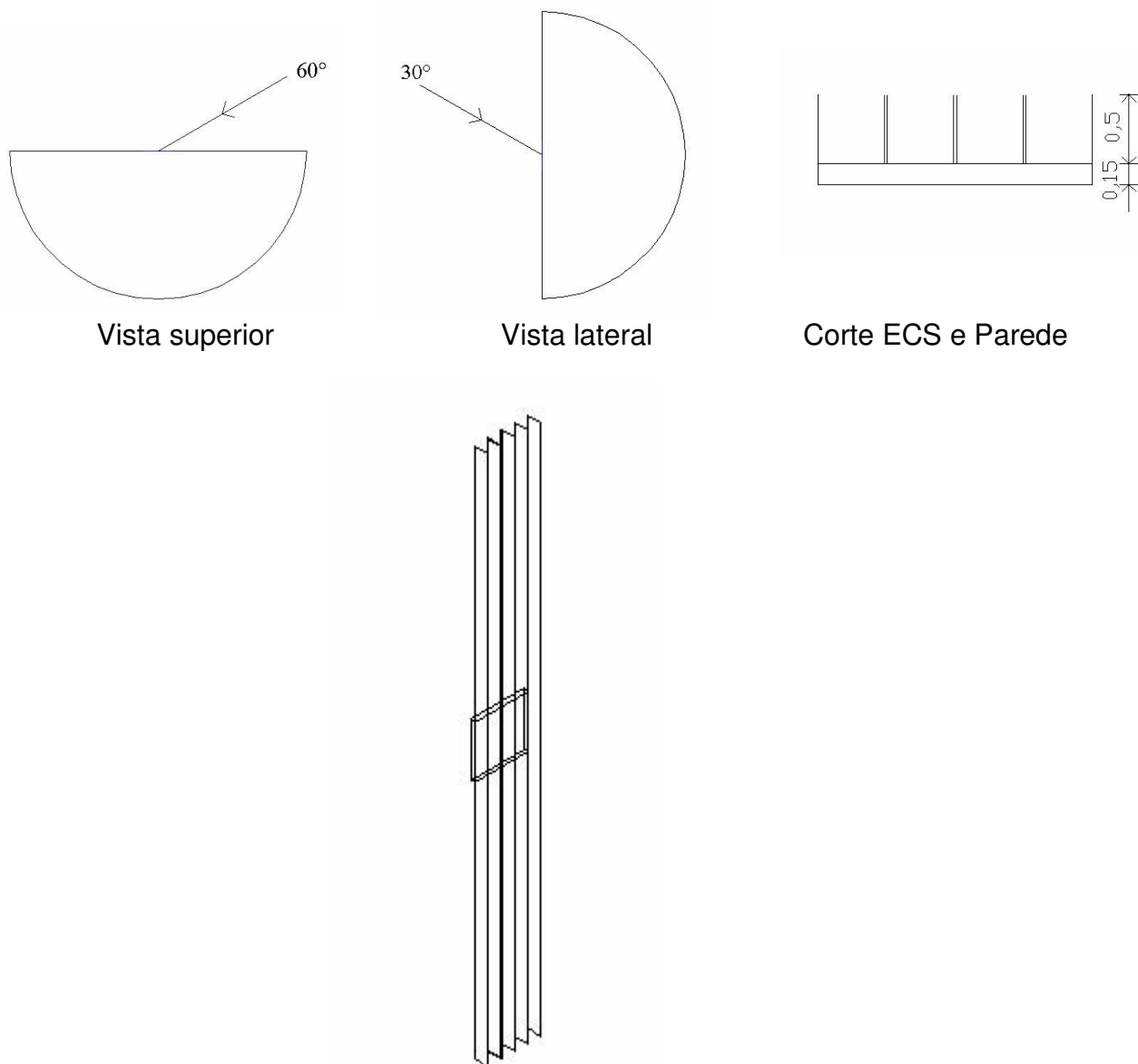
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 87 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 12

Tabela 39 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) – Situação 13

SITUAÇÃO 13: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **5 PV** de **0,5m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
111.693	96.041 (85,98%)	5PV	32.178	28,80	27.351	24,48	0,2448



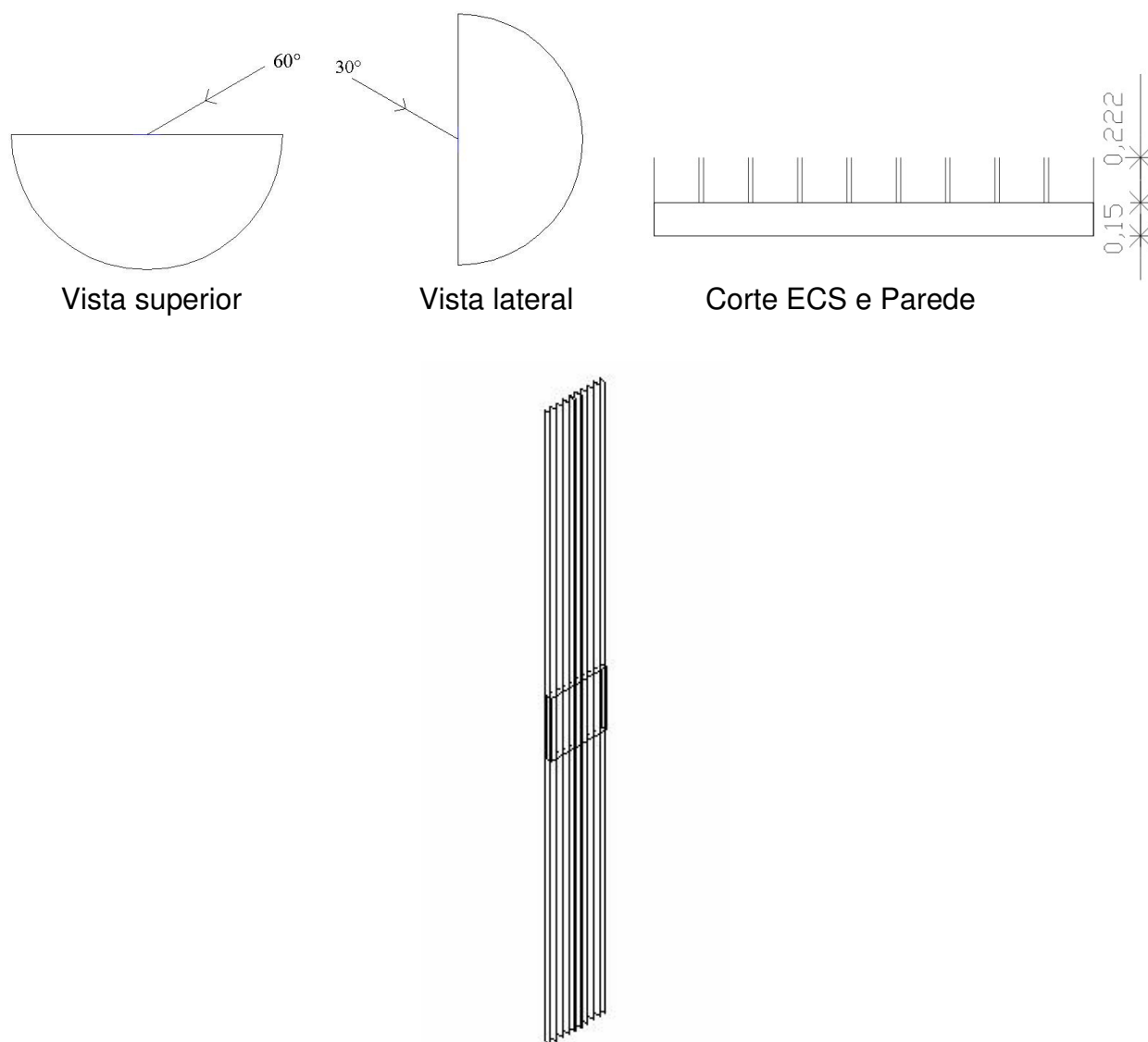
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 88 – Incidência de luz, corte e isométrica de 5 placas verticais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises verticais - situação 13

Tabela 40 - Admissão de luz natural (**Fluxo Luminoso**) – Situação 14

SITUAÇÃO 14: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PV** de **0,222m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
111.693	96.041 (85,98%)	10PV	34.451	30,84	29.275	26,21	0,2621



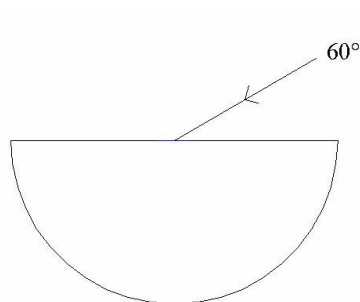
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 89 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas verticais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises verticais - situação 14

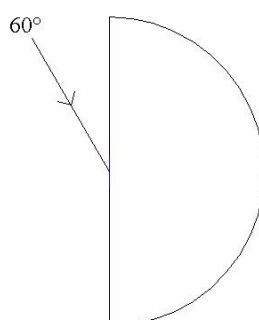
Tabela 41 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 15

SITUAÇÃO 15: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **5PV** de **0,50m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

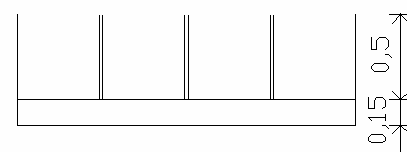
ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T _{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	5 PV	17.243	46,29	14.656	39,35	0,3935



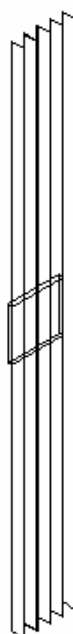
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

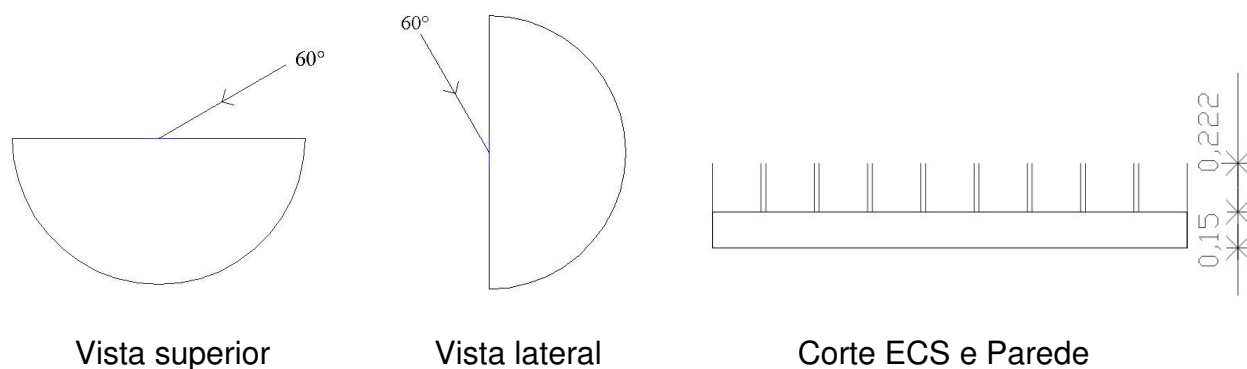


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 90 – Incidência de luz, corte e isométrica de 5 placas verticais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises verticais - situação 15

Tabela 42 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 16**SITUAÇÃO 16:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PV** de **0,222m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	10 PV	16.776	45,03	14.259	38,27	0,3827

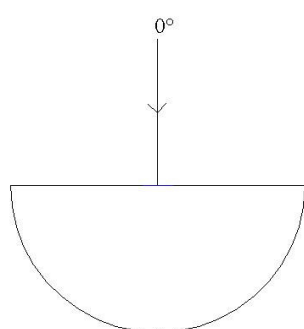


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

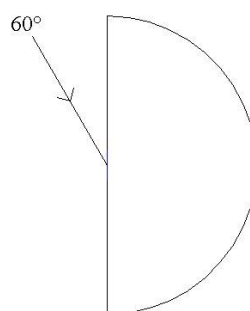
Figura 91 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas verticais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises verticais - situação 16

Tabela 43 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 17**SITUAÇÃO 17:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,115m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **20%**

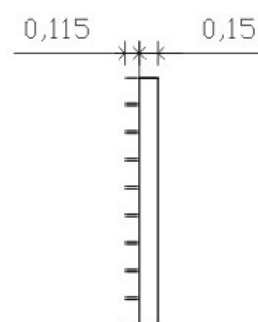
ALTURA 60° AZIMUTE 0°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
127.805	111.597 (87,31%)	10PH	17.541	13,72	14.910	11,66	0,1166



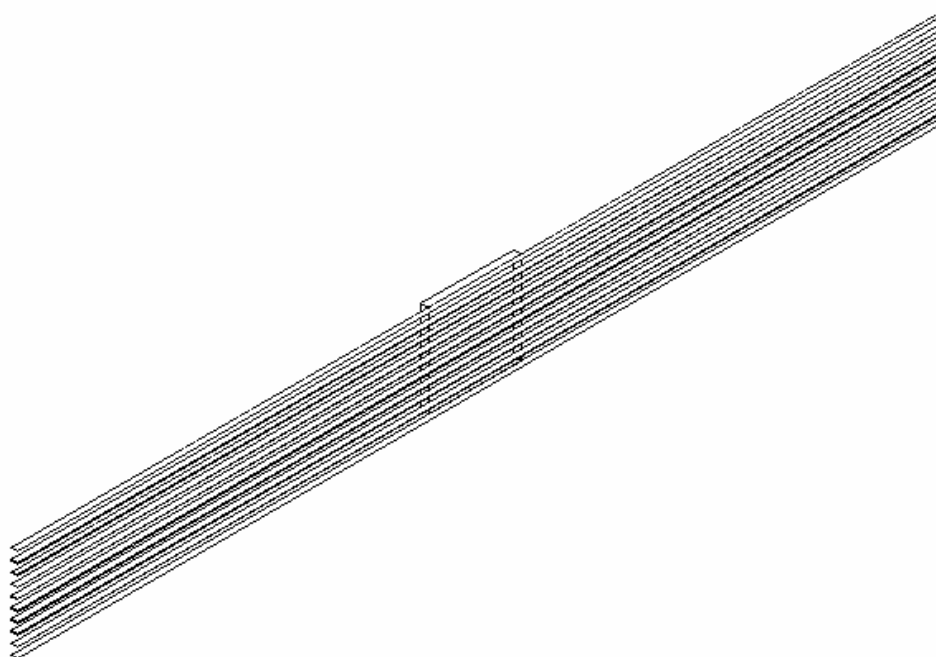
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

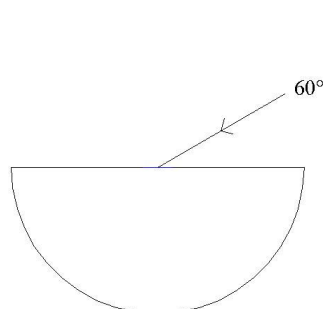


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

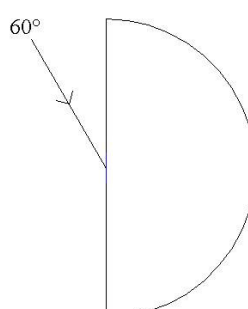
Figura 92 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 17

Tabela 44 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 18**SITUAÇÃO 18:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,115m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **20%**

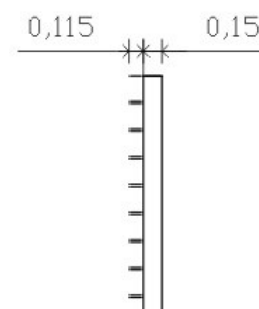
ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	10PH	10.905	29,27	9.269	24,88	0,2488



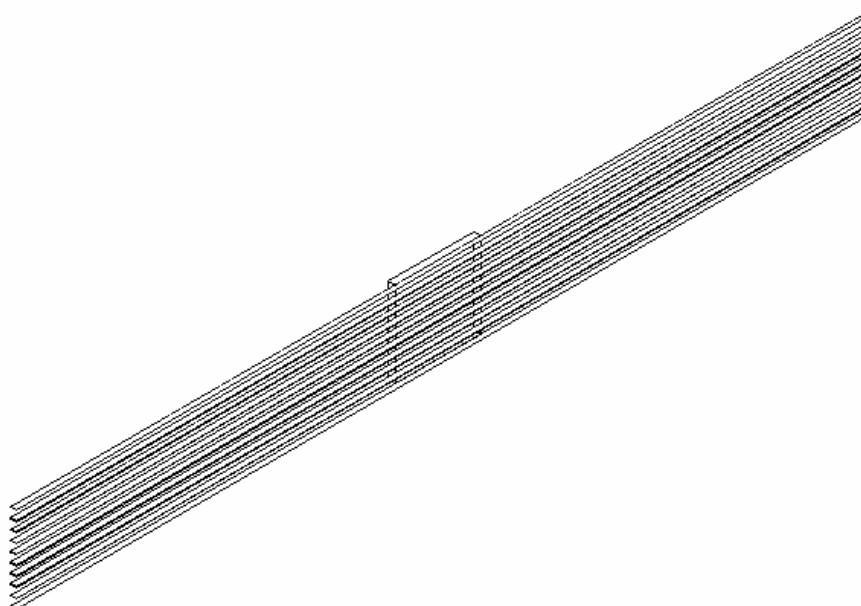
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

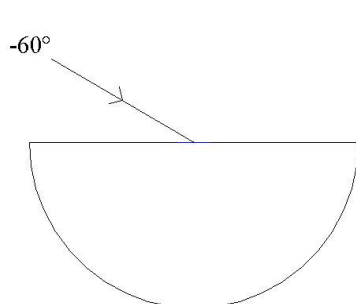


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

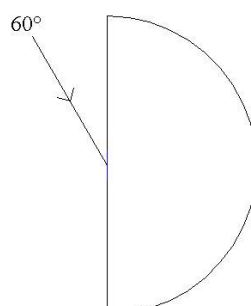
Figura 93 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 18

Tabela 45 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 19**SITUAÇÃO 19:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PH** de **0,115m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **20%**

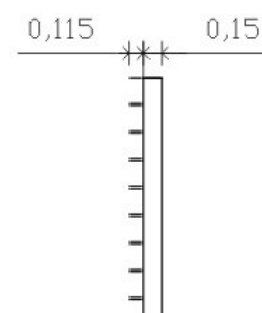
ALTURA 60° AZIMUTE - 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
43.077	29.037 (67,40%)	10PH	11.206	26,01	9.525	22,11	0,2211



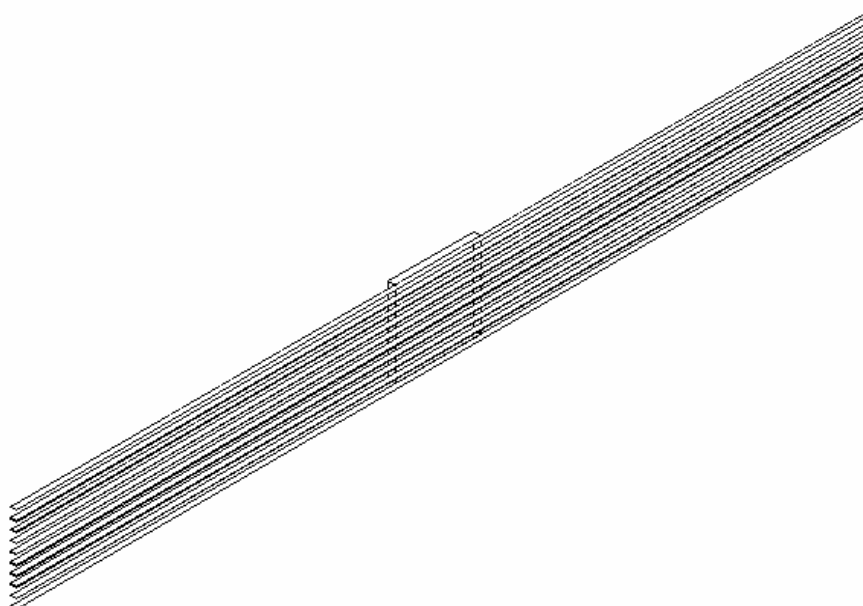
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede



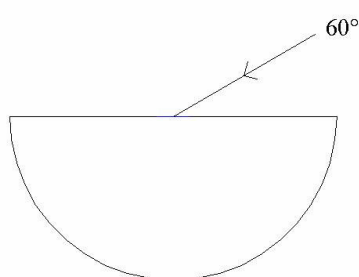
Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 94 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas horizontais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises horizontais - situação 19

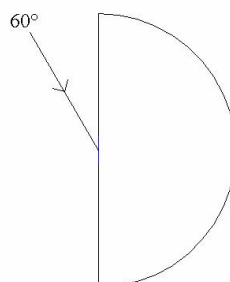
Tabela 46 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 20

SITUAÇÃO 20: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **5PV** de **0,50m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

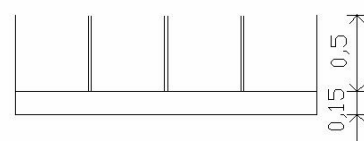
ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	5PV	6.662	17,89	5.663	15,20	0,1520



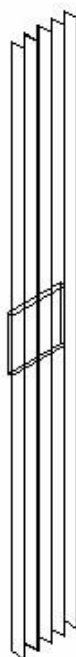
Vista superior



Vista lateral



Corte ECS e Parede

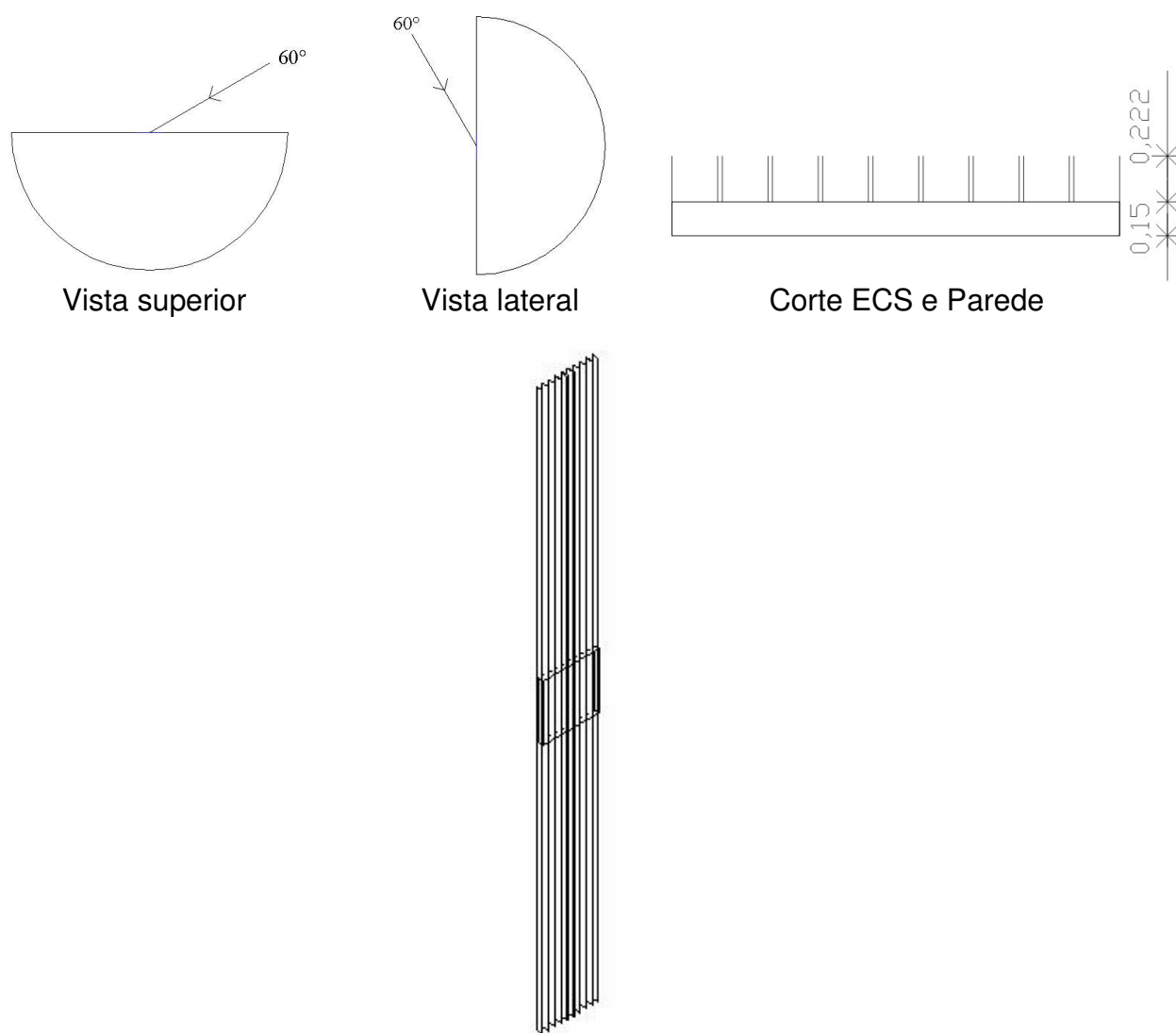


Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 95 – Incidência de luz, corte e isométrica de 5 placas verticais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises verticais - situação 20

Tabela 47 - Admissão de luz natural (Fluxo Luminoso) – Situação 21**SITUAÇÃO 21:** Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10PV** de **0,222m**Espessura de parede e peitoril: **0,15m**Refletância dos ECS: **20%**

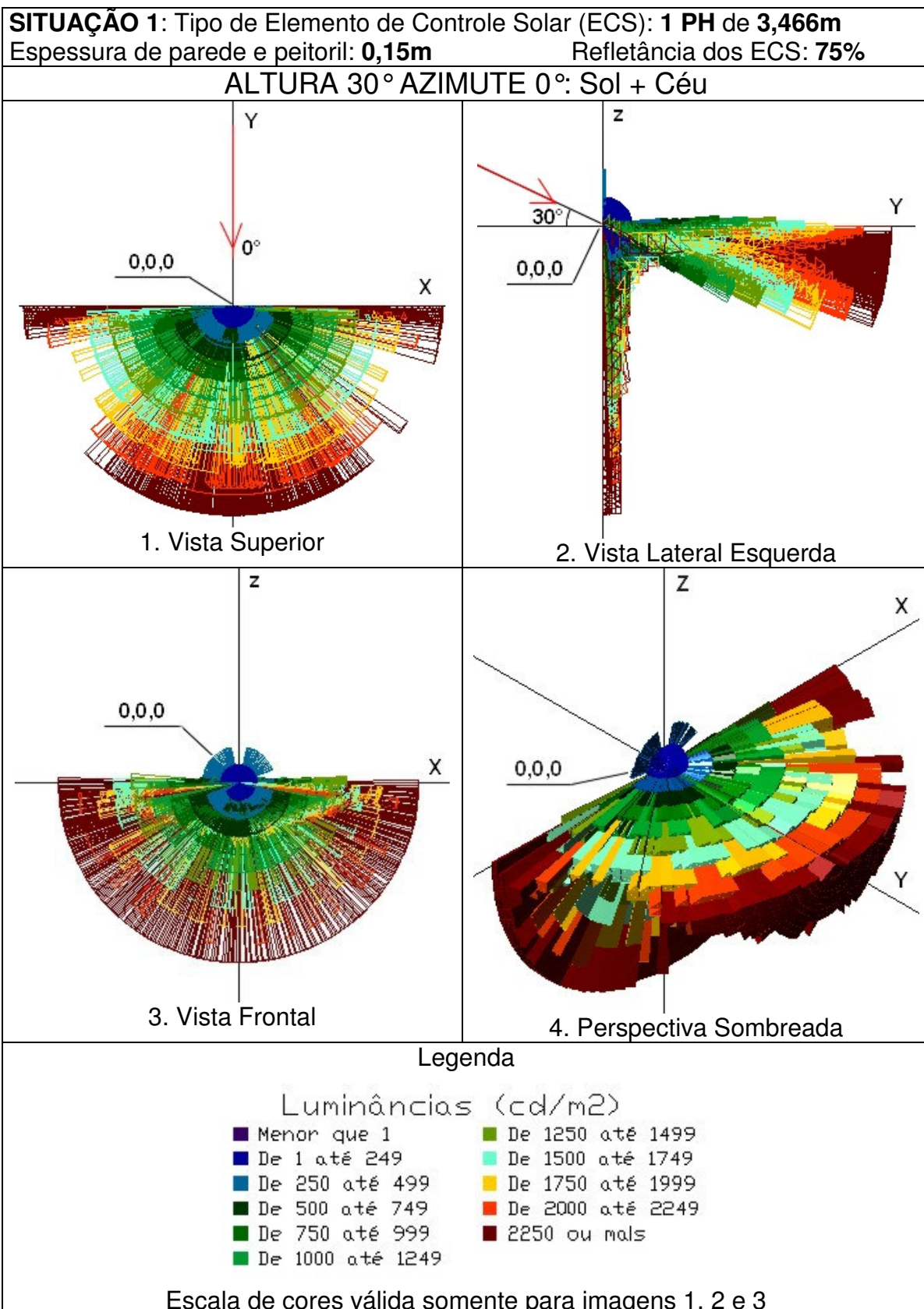
ALTURA 60° AZIMUTE 60°							
Φ Ext (lm) Sol+Céu	Φ Ext (lm) Só Sol	Tipos de ECS	Φ Efeito ECS		Φ Adm		T_{dh}
			lm	%	lm	%	
37.251	23.402 (62,82%)	10PV	6.509	17,47	5.532	14,85	0,1485



Isométrica ECS: vista do interior para exterior

Figura 96 – Incidência de luz, corte e isométrica de 10 placas verticais com 20 m de comprimento sobre a janela, como brises verticais - situação 21

2. Resultados de Luminância Equivalente da Janela: Situações 1 a 21

**Figura 97** – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 1

I - Análise dos Resultados da Situação 1:

Nesta situação, a existência de 1 placa horizontal sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol no azimute 0° e altura 30° , sendo a luz admitida proveniente somente do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimute zero de incidência da fonte de luz na abertura, existe uma distribuição simétrica dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da janela (ponto 0,0,0) para os lados direito e esquerdo, com maiores valores junto à direção do ambiente interno na faixa acima de 2.250 cd/m^2 (na cor marrom). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 0° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com altura 30° , atingindo valores acima de 2.250 cd/m^2 . Altos valores de L_{equiv} foram identificados para os dois lados da janela e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria na faixa de 2.000 a 24.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e de 2.000 a 32.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

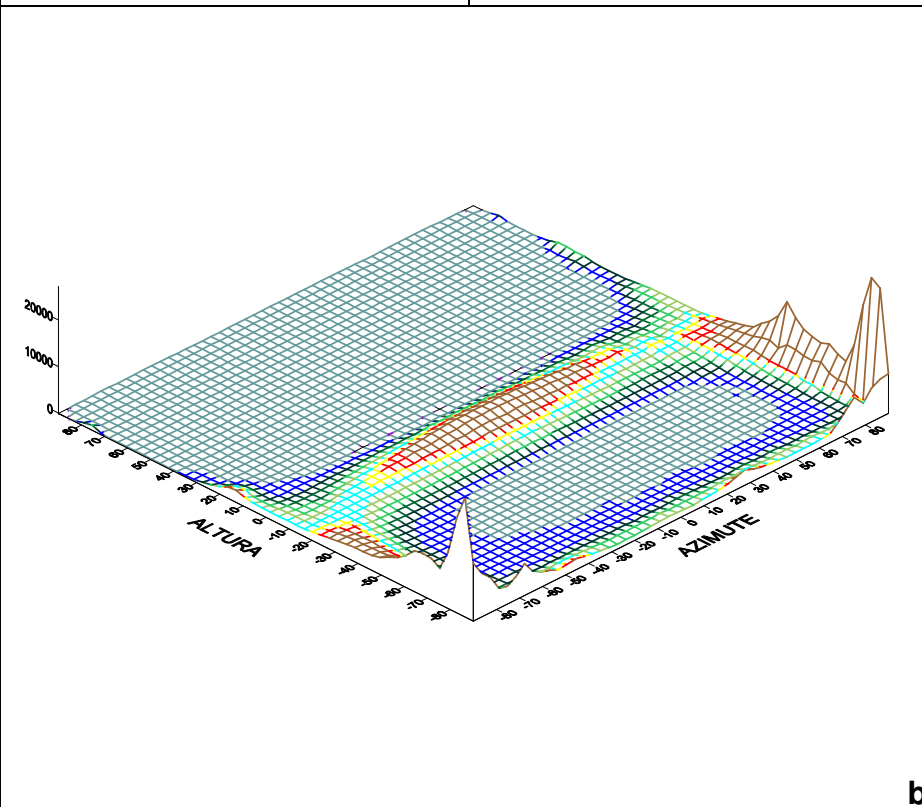
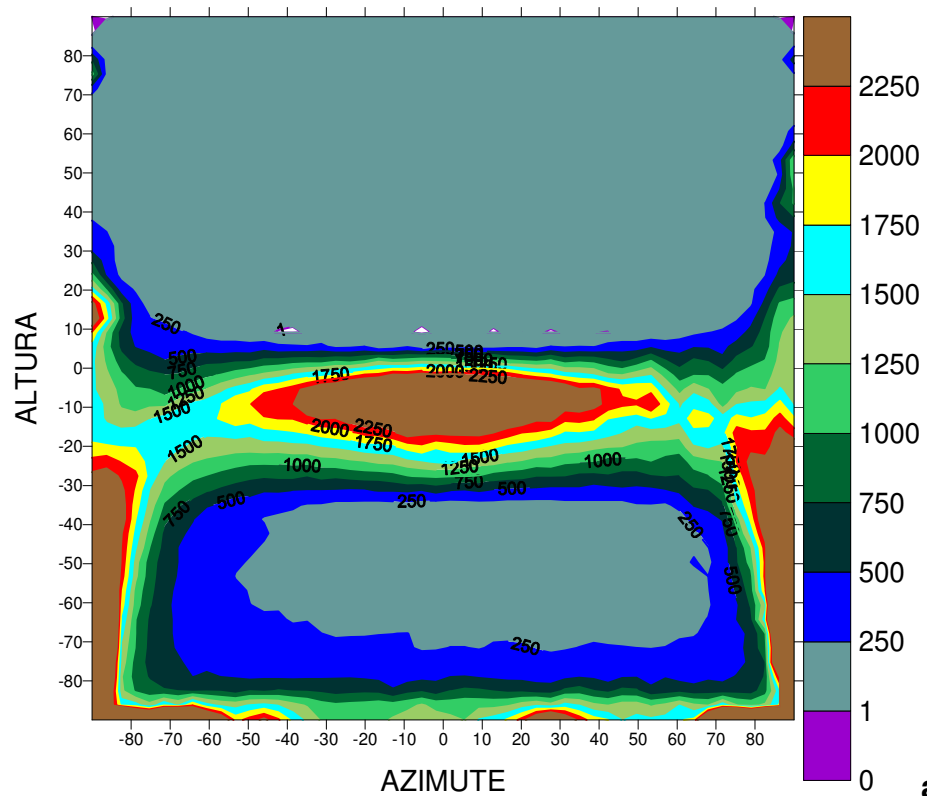
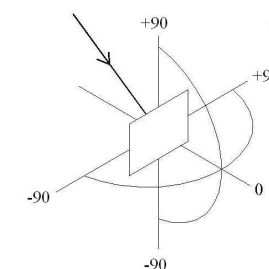
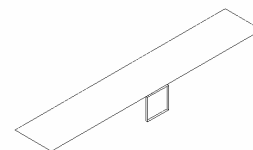
Na vista lateral esquerda, identifica-se o efeito da luz natural difusa admitida na incidência de altura 30 graus. O efeito da reflexão da luz na espessura do peitoril com refletância de 75% está representado junto ao hemisfério superior, com valores na sua maioria até 249 cd/m^2 (na cor azul-escuro). Foram identificados ainda os maiores valores de L_{equiv} junto ao hemisfério inferior, representativo do efeito cosseno, com valores de 4.000 a 20.000 cd/m^2 ; no entanto, a magnitude desses valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz provocada pela luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno, tanto para os dois lados como na direção do hemisfério inferior.

Na página seguinte, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 1: 1 PH de 3,466mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como uma marquise.

**Gráfico 22** - Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 1 com altura 30° e azimute 0°

II- Análise dos Resultados da situação 1:

No gráfico 22a identifica-se a simetria dos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para os lados direito e esquerdo (azimutes positivos e negativos) devido ao azimute 0° da fonte de luz, com predominância para o hemisfério inferior (alturas negativas), conforme identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido à situação de apenas 1 placa horizontal sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes apenas da luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério inferior.

O maior valor de luminâncias está identificado para o hemisfério inferior desde altura -2° a -18° e azimute -38° a $+40^\circ$, na faixa acima de 2.250 cd/m^2 (na cor marrom), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 1.750 cd/m^2 (na cor amarela).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 0° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com altura 30° , atingindo valores acima de 2.250 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno em altos valores, está identificado na cor marrom nos lados direito e esquerdo e na direção inferior da abertura, conforme já identificado nas imagens do tipo *dx**f*, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Já no gráfico 22b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distorção no cálculo da luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, com altos valores na cor marrom.

Os dois gráficos 22 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial da luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

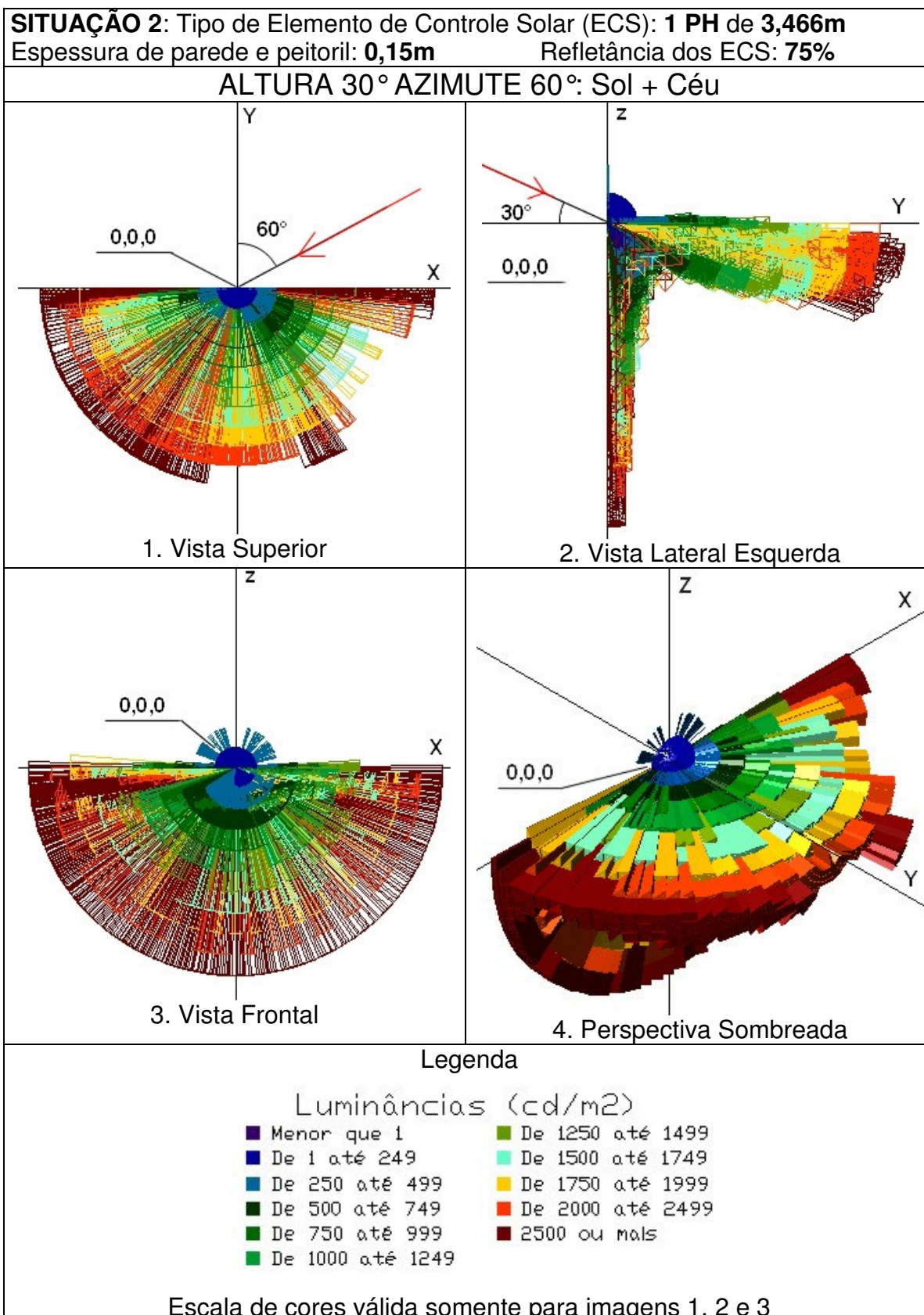


Figura 98 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 2

I - Análise dos Resultados da Situação 2:

Nesta situação, a existência de 1 placa horizontal sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente somente do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimute 60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado esquerdo, com maiores valores na faixa acima de 2.500 cd/m^2 (na cor marrom). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se a fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com a altura 30° , atingindo valores acima de 2.500 cd/m^2 . Altos valores de L_{equiv} foram identificados para os dois lados da janela e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria na faixa de 4.000 a 32.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e de 4.000 a 28.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

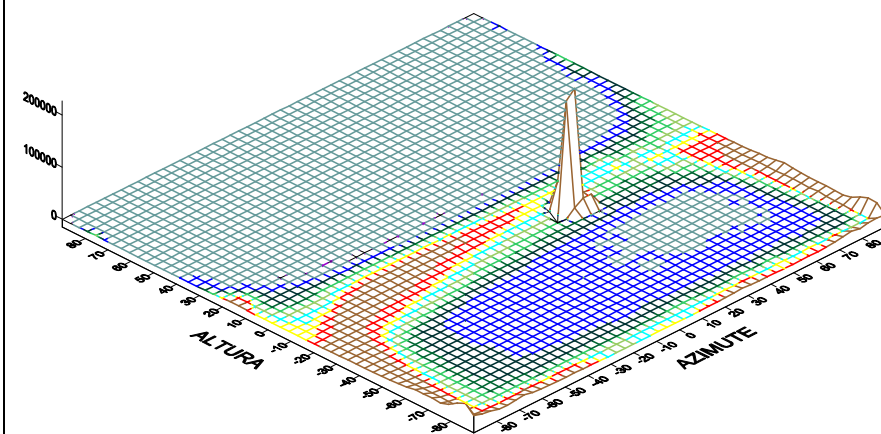
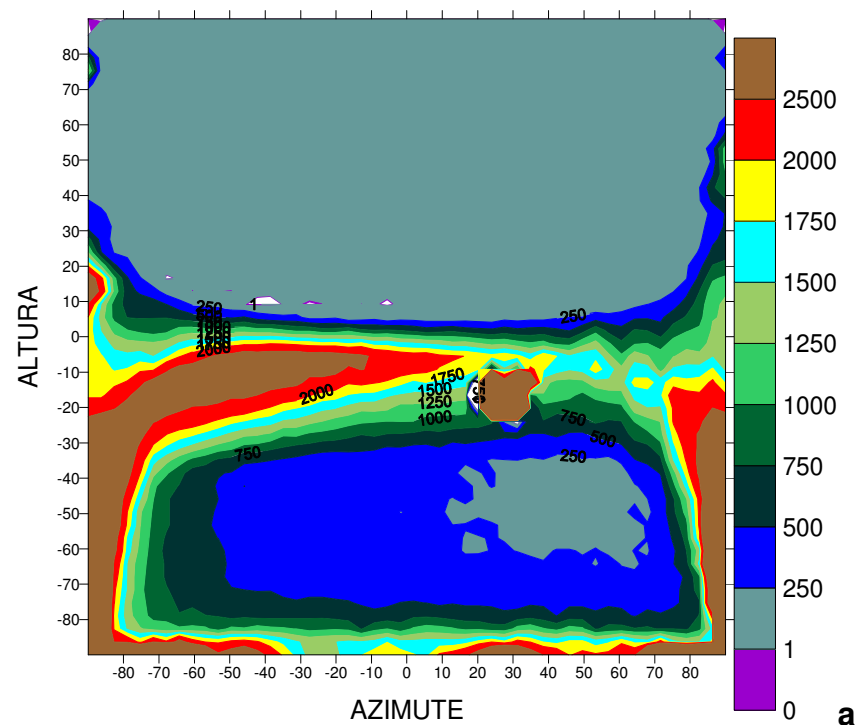
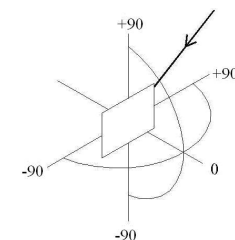
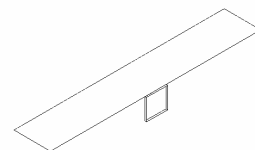
Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural difusa admitida na incidência de altura 30 graus. O efeito da reflexão da luz na espessura do peitoril com refletância de 75% está representado junto ao hemisfério superior, com valores na sua maioria até 249 cd/m^2 . Foram identificados ainda os maiores valores de L_{equiv} próxima a parte inferior da abertura, representativo do efeito cosseno, com valores de 12.000 a 28.000 cd/m^2 ; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno, tanto para os dois lados como na direção do hemisfério inferior.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 2: 1 PH de 3,466mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como uma marquise

**Gráfico 23-** Luminância equivalente da janela ($Le_{equiv} - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 2 com altura 30° e azimute 60°

II - Análise dos Resultados da Situação 2:

No gráfico 23a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado esquerdo devido ao azimute 60° da fonte de luz, com predominância para o hemisfério inferior (alturas negativas), mais um pico de valores no lado direito (hemisfério inferior), conforme antes identificado na imagem do tipo *dx_f* referente a esta situação de análise.

Devido a situação de apenas 1 placa horizontal sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes apenas da luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério inferior e no lado esquerdo.

O maior valor de luminâncias está identificado principalmente para o hemisfério inferior, desde a altura -5° , seguindo em alturas negativas em azimutes de -10° à -90° , na faixa acima de 2.500 cd/m^2 (na cor marrom), seguindo uma tendência mais acentuada nesta direção com valores desde 1.750 cd/m^2 (na cor amarela). Existe também uma concentração (pico) de altos valores de luminância desde altura -10° a -25° e azimute $+20^\circ$ a $+35^\circ$, na faixa acima de 2.500 cd/m^2 (na cor marrom), na direção do hemisfério inferior e para o lado direito.

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com altura 30° , atingindo valores acima de 2.500 cd/m^2 .

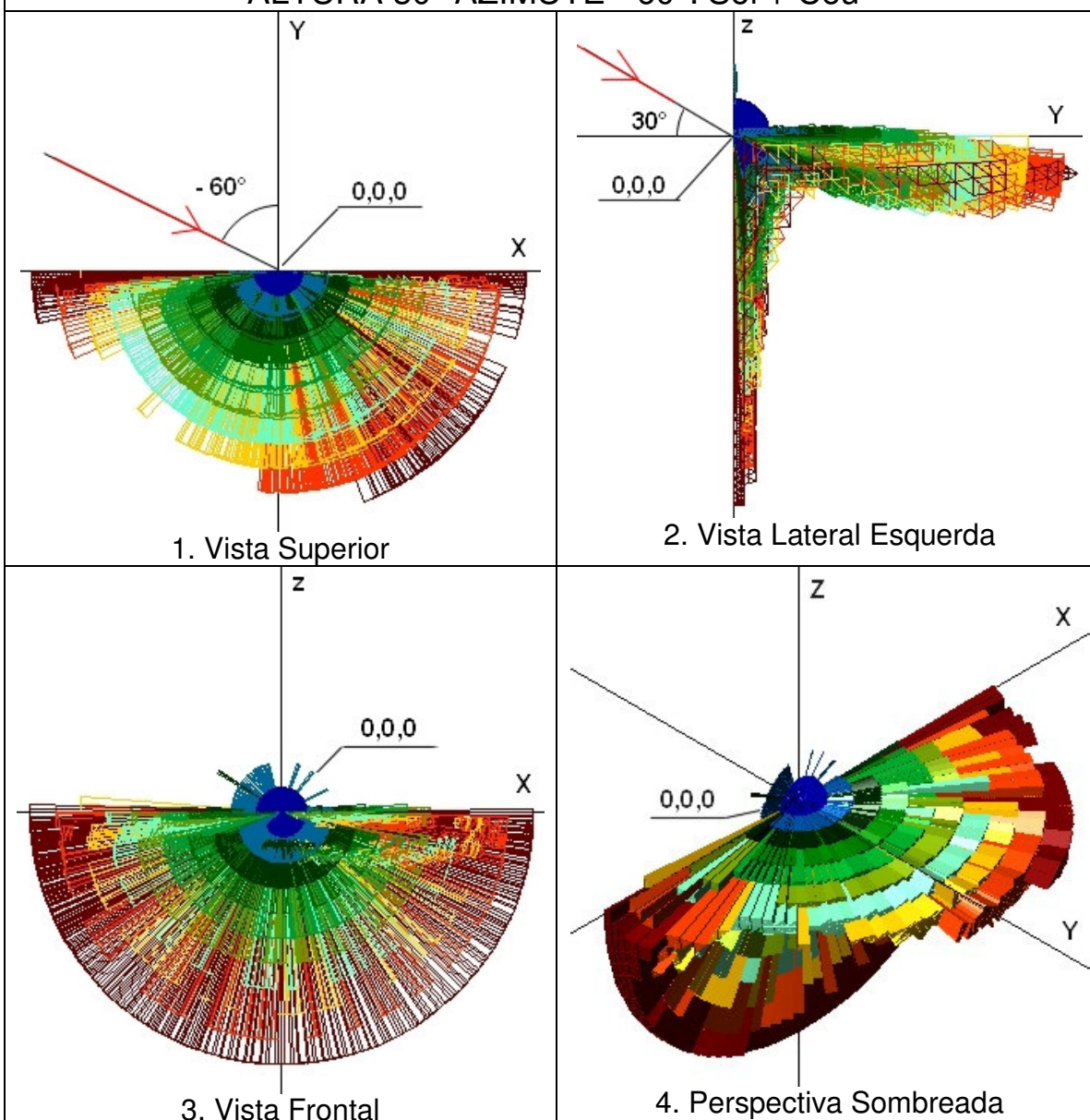
O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno em altos valores está identificado na cor marrom para os lados direito e esquerdo e na direção inferior da abertura, conforme já identificado nas imagens do tipo *dx_f*, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Já no gráfico 23b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distorção no cálculo da luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, com altos valores na cor marrom.

Os dois gráficos 23 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial da luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx_f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 3: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **1 PH** de **3,466m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 1250 até 1499
■ De 1 até 249	■ De 1500 até 1749
■ De 250 até 499	■ De 1750 até 1999
■ De 500 até 749	■ De 2000 até 2499
■ De 750 até 999	■ 2500 ou mais
■ De 1000 até 1249	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 99 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 3

I - Análise dos Resultados da Situação 3:

Nesta situação, a existência de 1 placa horizontal sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado esquerdo), sendo a luz admitida proveniente somente do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimute - 60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na maioria desde 2.000 cd/m² (na cor vermelha) e acima de 2.500 cd/m² (na cor marrom). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute -60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se a fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com a altura 30°, atingindo valores acima de 2.500 cd/m². Altos valores de L equiv foram identificados para os dois lados da janela e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria na faixa de 4.000 a 32.000 cd/m² para o lado esquerdo e de 4.000 a 24.000 cd/m² para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

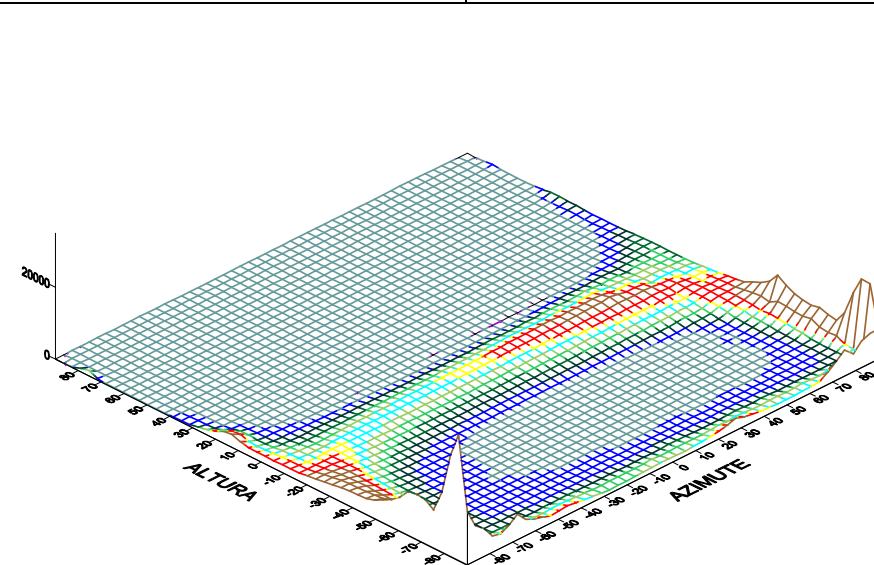
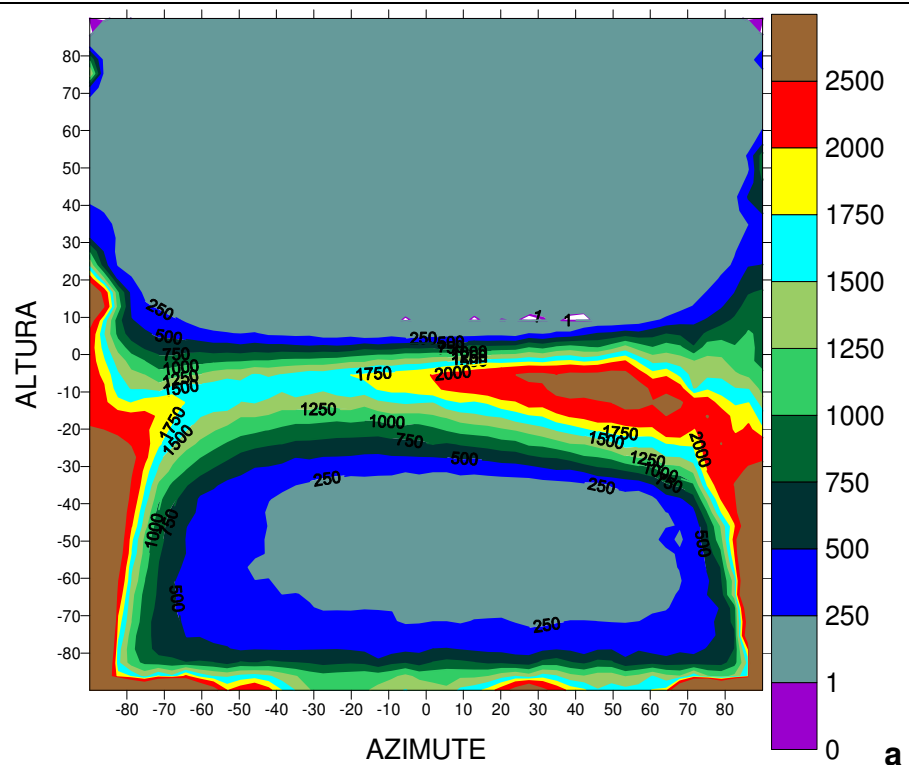
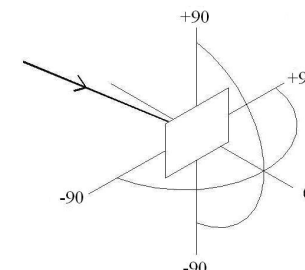
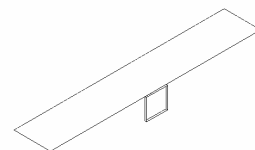
Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural difusa admitida na incidência de altura 30 graus. O efeito da reflexão da luz na espessura do peitoril com refletância de 75% está representado junto ao hemisfério superior, com valores na sua maioria até 249 cd/m². Foram identificados ainda os maiores valores de L equiv próximo a parte inferior da abertura, representativo do efeito cosseno, com valores de 4.000 a 32.000 cd/m²; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno, tanto para os dois lados como na direção do hemisfério inferior.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 3: 1 PH de 3,466mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como uma marquise

**b****Gráfico 24-** Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 3 com altura 30° e azimute -60°

II - Análise dos Resultados da Situação 3:

No gráfico 24a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito devido ao azimute -60° da fonte de luz, com predominância para o hemisfério inferior (alturas negativas), conforme antes identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido a situação de apenas 1 placa horizontal sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes apenas da luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério inferior e no lado direito.

O maior valor de luminâncias está identificado para o hemisfério inferior desde altura -5° a -18° e azimute $+25^\circ$ a $+70^\circ$, na faixa acima de 2.500 cd/m^2 (na cor marrom), seguindo uma tendência mais acentuada nesta direção com valores desde 1.750 cd/m^2 (na cor amarela). A concentração (pico) de altos valores de luminância observada na situação 2 de incidência de luz oposta à esta situação 3, não foi identificada.

A direcionalidade da luz decorrente do azimute -60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com altura 30° , atingindo valores acima de 2.500 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno em altos valores está identificado na cor marrom para os lados direito e esquerdo e na direção inferior da abertura, conforme já identificado nas imagens do tipo *dx**f*, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Já no gráfico 24b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distorção no cálculo da luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, com altos valores na cor marrom. Já aquele pico de altos valores de luminância da situação 2 de luz incidente oposta a esta situação 3 não foi identificado.

Os dois gráficos 24 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial da luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

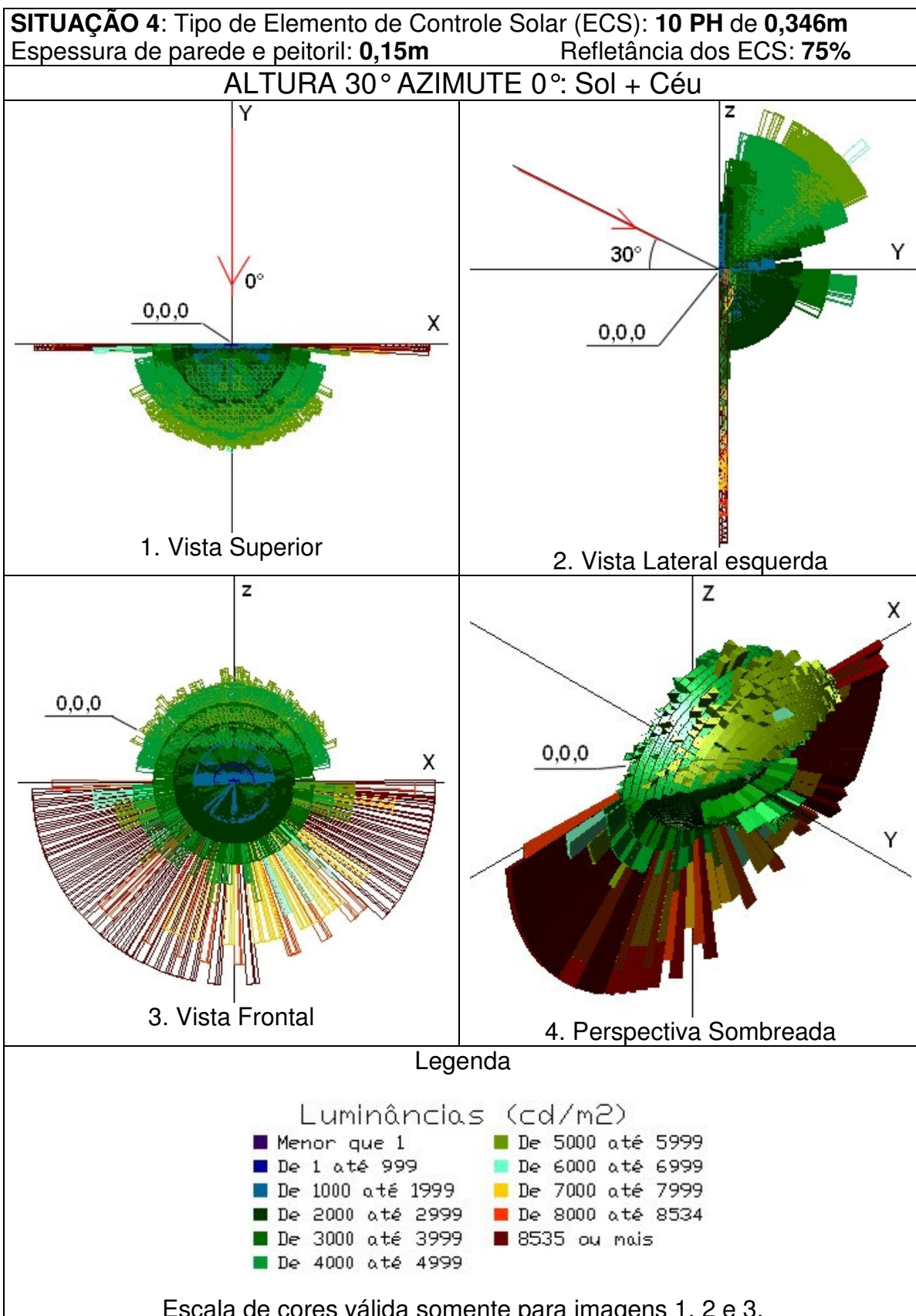


Figura 100 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 4

I- Análise dos Resultados da Situação 4:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol perpendiculares à abertura, sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth zero existe uma distribuição simétrica dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para os lados direito e esquerdo, com valores até 5.999 cd/m^2 (na cor verde claro). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimuth 0° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida dominante nas placas horizontais, atingindo valores até 5.999 cd/m^2 . Altos valores de L_{equiv} foram identificados para os dois lados da janela e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria na faixa de 12.000 a 24.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e de 12.000 a 32.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

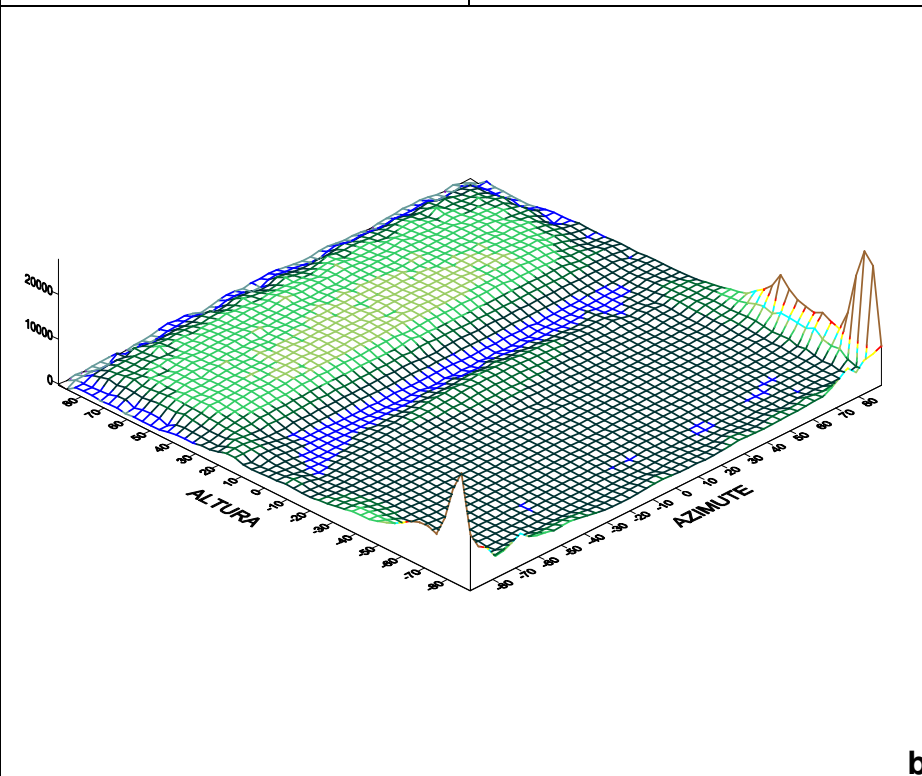
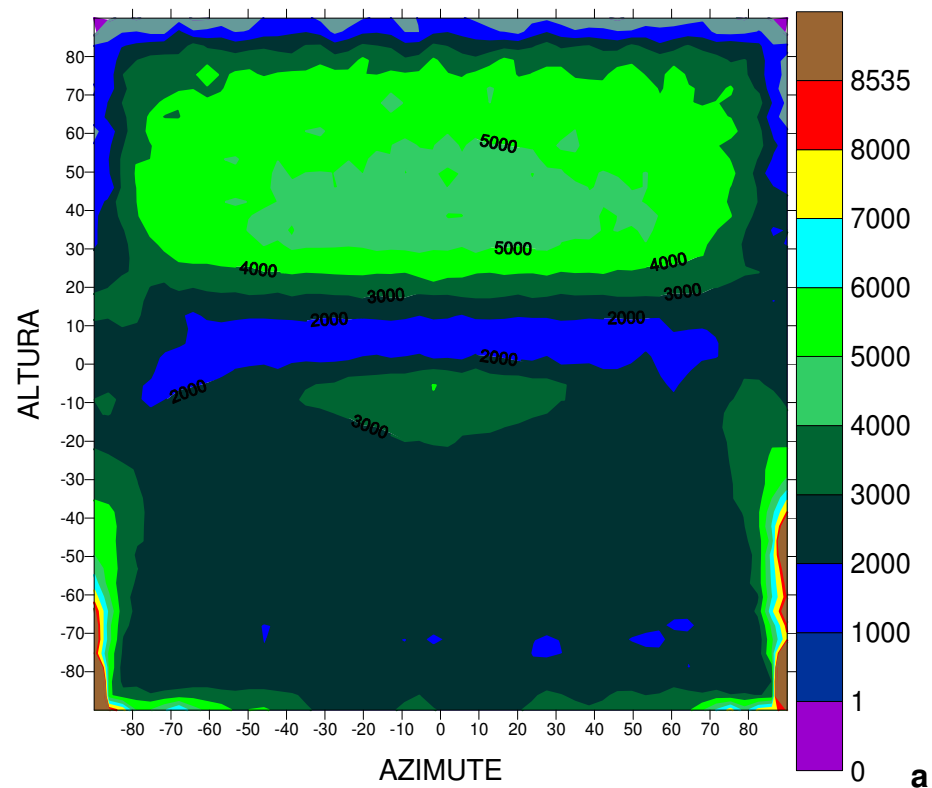
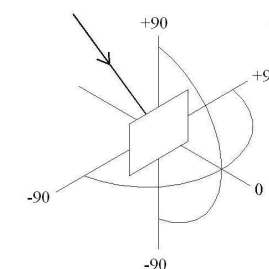
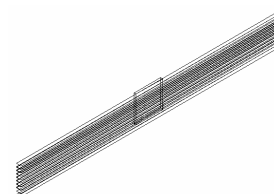
Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais na incidência de altura 30 graus, com valores na sua maioria até 5.999 cd/m^2 (na cor verde-claro). Foram identificados valores de luminância majoritariamente entre 2.000 cd/m^2 (na cor verde forte) e 4.999 cd/m^2 (na cor verde escuro) na direção do hemisfério inferior, representativos dos processos de inter-reflexões entre as placas horizontais. Também foram identificados ainda os maiores valores de L_{equiv} na parte inferior da abertura, representativo do efeito cosseno, com valores de 4.000 a 20.000 cd/m^2 ; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno, tanto para os dois lados como na direção do hemisfério inferior.

A seguir é apresentada a luminância equivalente da janela de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ).

SITUAÇÃO 4: 10 PH de 0,346mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 25-** Luminância equivalente da janela ($Le_{equiv} - \text{cd/m}^2$) para situação 4 com altura 30° e azimuth 0°

II- Análise dos Resultados da situação 4:

No gráfico 25a anterior identifica-se a simetria dos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para os lados direito e esquerdo (azimutes positivos e negativos) devido ao azimute 0° da fonte de luz, com distribuição para os hemisférios superior e inferior, conforme antes identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido à situação de 10 placas horizontais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério superior devido à reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

O maior valor de luminâncias está identificado para o hemisfério superior desde altura $+30^\circ$ a $+58^\circ$ e azimute -50° a $+60^\circ$, na faixa de 5.000 à 6.000 cd/m^2 (na cor verde-claro), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 1.000 cd/m^2 (na cor azul), devido a reflexão da luz nas placas horizontais.

Como já identificado na imagem do tipo *dx**f*, existe também uma área de valores de luminância desde altura -2° a -20° e azimute -35° a $+35^\circ$, na faixa de 3.000 a 4.000 cd/m^2 (na cor verde-forte) na direção do hemisfério inferior e para os dois lados, devido aos processos de inter-reflexões entre as placas.

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 0° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais, com valores de luminâncias na faixa de 5.000 a 6.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno em altos valores está identificado principalmente na cor marrom para os lados direito e esquerdo e na direção inferior da abertura, conforme já identificado nas imagens do tipo *dx**f*, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Já no gráfico 25b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distorção no cálculo da luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, com altos valores na cor marrom.

Os dois gráficos 25 **a** e **b** representam a distribuição espacial da luminância equivalente da janela, possibilitando a verificação detalhada segundo a altura e azimute desejados.

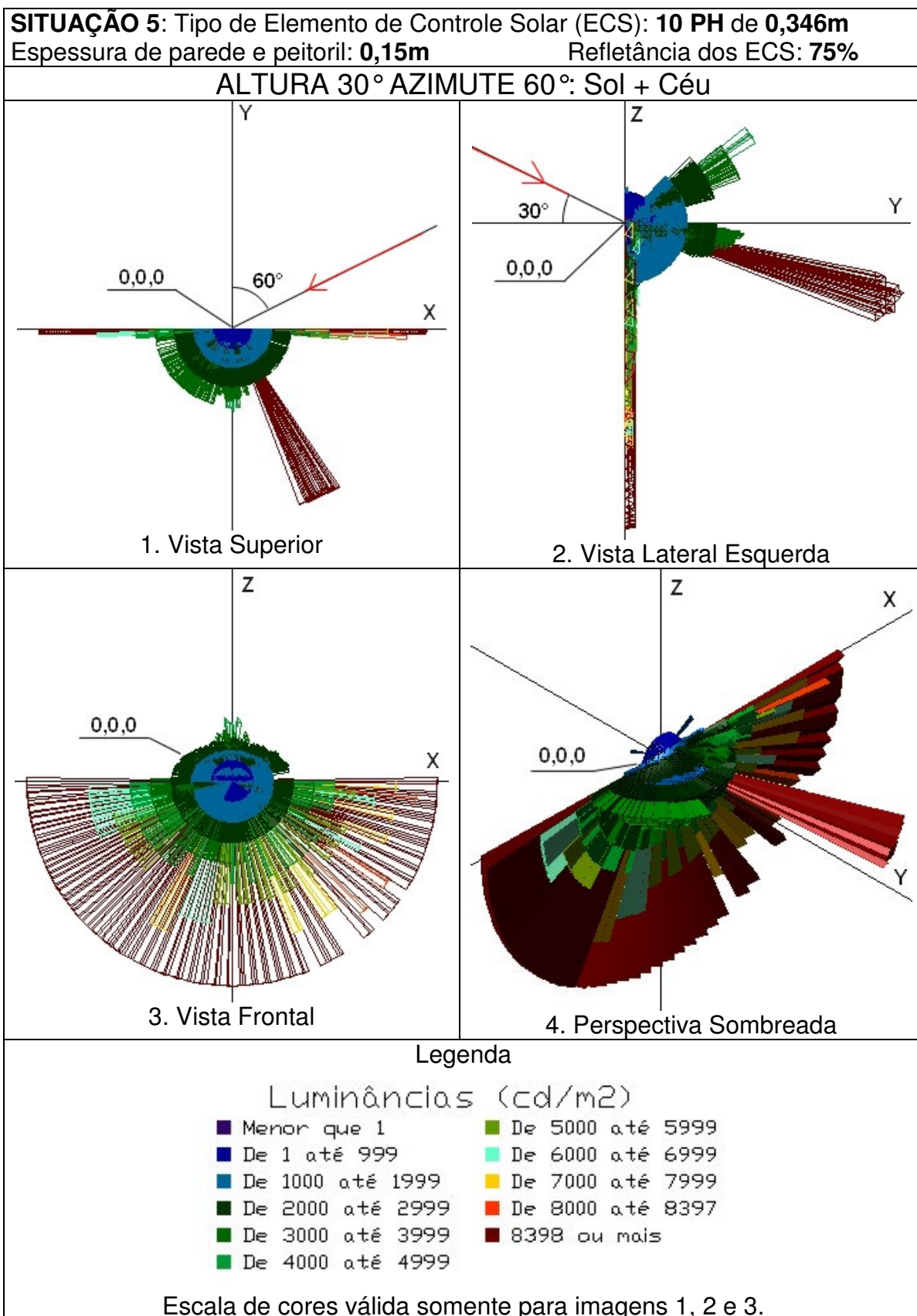


Figura 101 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 5

I - Análise dos Resultados da Situação 5:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

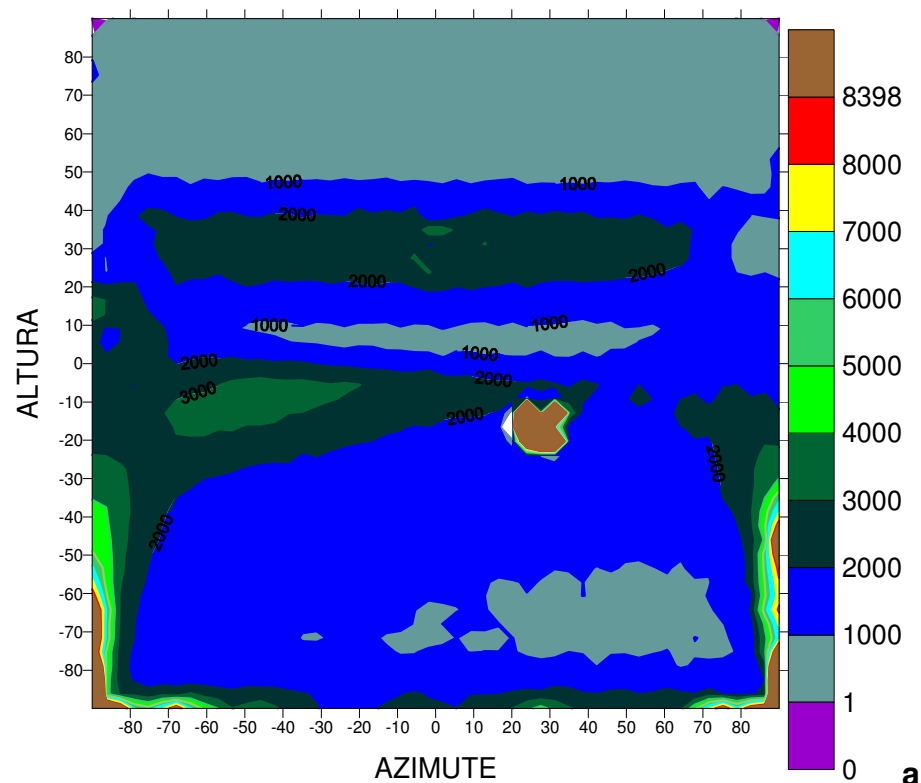
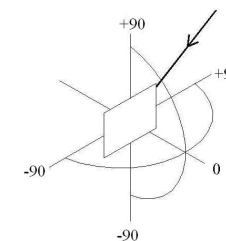
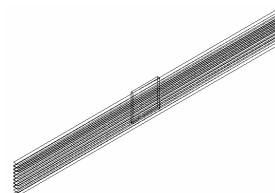
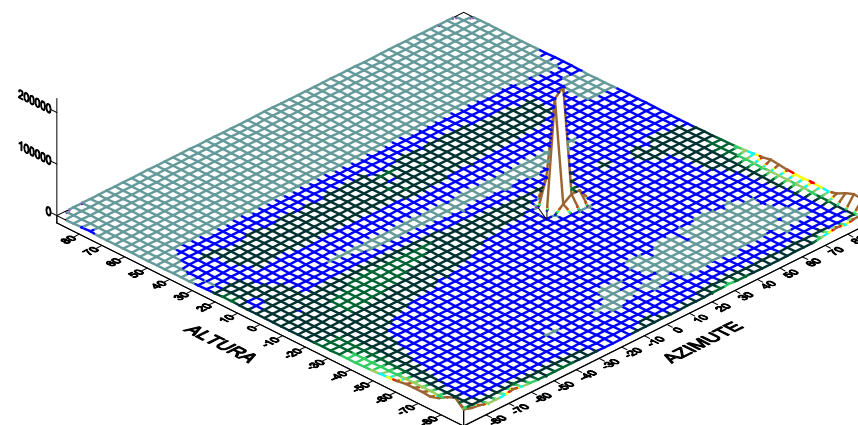
Conforme observado na vista superior, devido ao azimute 60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado esquerdo, com valores na sua maioria até 3.999 cd/m^2 (na cor verde escuro). Devido à reflexão da luz solar direta nas placas horizontais e na espessura de parede com refletância de 75%, foram identificados ainda valores de luminância equivalente da janela no lado oposto ao da incidência de luz, na faixa acima de 8.398 cd/m^2 , (na cor marrom). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 60° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida dominante nas placas horizontais, atingindo valores até 4.999 cd/m^2 . Altos valores de L_{equiv} foram identificados para os dois lados da janela e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria na faixa de 4.000 a 32.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e de 4.000 cd/m^2 a 28.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais na incidência de altura 30 graus, com valores na sua maioria até 4.999 cd/m^2 (na cor verde) na direção do hemisfério superior, e acima de 8.398 cd/m^2 (na cor marrom), na direção do hemisfério inferior, estes devido aos processos de inter-reflexões entre as placas horizontais. Altos valores de L_{equiv} foram identificados junto à parte inferior da abertura e para os dois lados, com valores na maioria entre 12.000 e 32.000 cd/m^2 , representativo do efeito cosseno devido ao alto ângulo da luz admitida desde o centro da abertura; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada segundo as coordenadas altura, azimute e luminância no plano XZ da abertura.

SITUAÇÃO 5: 10 PH de 0,346mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**a****b****Gráfico 26 - Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 5 com altura 30° e azimuth 60°**

II- Análise dos Resultados da situação 5:

No gráfico 26a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado esquerdo junto ao hemisfério inferior devido ao azimute 60° da fonte de luz, assim como também na direção do hemisfério superior devido à luz refletida na placas horizontais, conforme antes identificado na imagem do tipo *dxif* desta situação.

Devido à situação de 10 placas horizontais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério superior no lado esquerdo, devido a reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

Os maiores valores de luminâncias estão identificados para os dois hemisférios. Para o para o hemisfério superior os maiores valores de luminâncias estão identificados principalmente na altura $+20^\circ$ a $+45^\circ$ e azimute -70° a $+70^\circ$ na faixa de 3.000 a 4.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro); já para o hemisfério inferior, os maiores valores estão identificados desde altura -5° a -20° e azimute -20° a -70° , na faixa de 3.000 à 4.000 cd/m^2 (na cor verde-forte), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 2.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro), devido a direção da incidência de luz (azimue 60°). Existe também uma concentração (pico) dos maiores valores identificados de luminância, desde altura -10° a -25° e azimute $+20^\circ$ a $+35^\circ$, na faixa acima de 8.398 cd/m^2 (na cor marrom).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° , na direção do hemisfério superior e majoritariamente para o lado esquerdo, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais, com os maiores valores de luminância na faixa de 3.000 a 4.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno em altos valores está identificado na cor marrom para os lados direito e esquerdo e na direção inferior da abertura, conforme já identificado nas imagens do tipo *dxif*, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Já no gráfico 26b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distorção no cálculo da luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, com altos valores na cor marrom, assim como aquela concentração (pico) de altos valores de luminância.

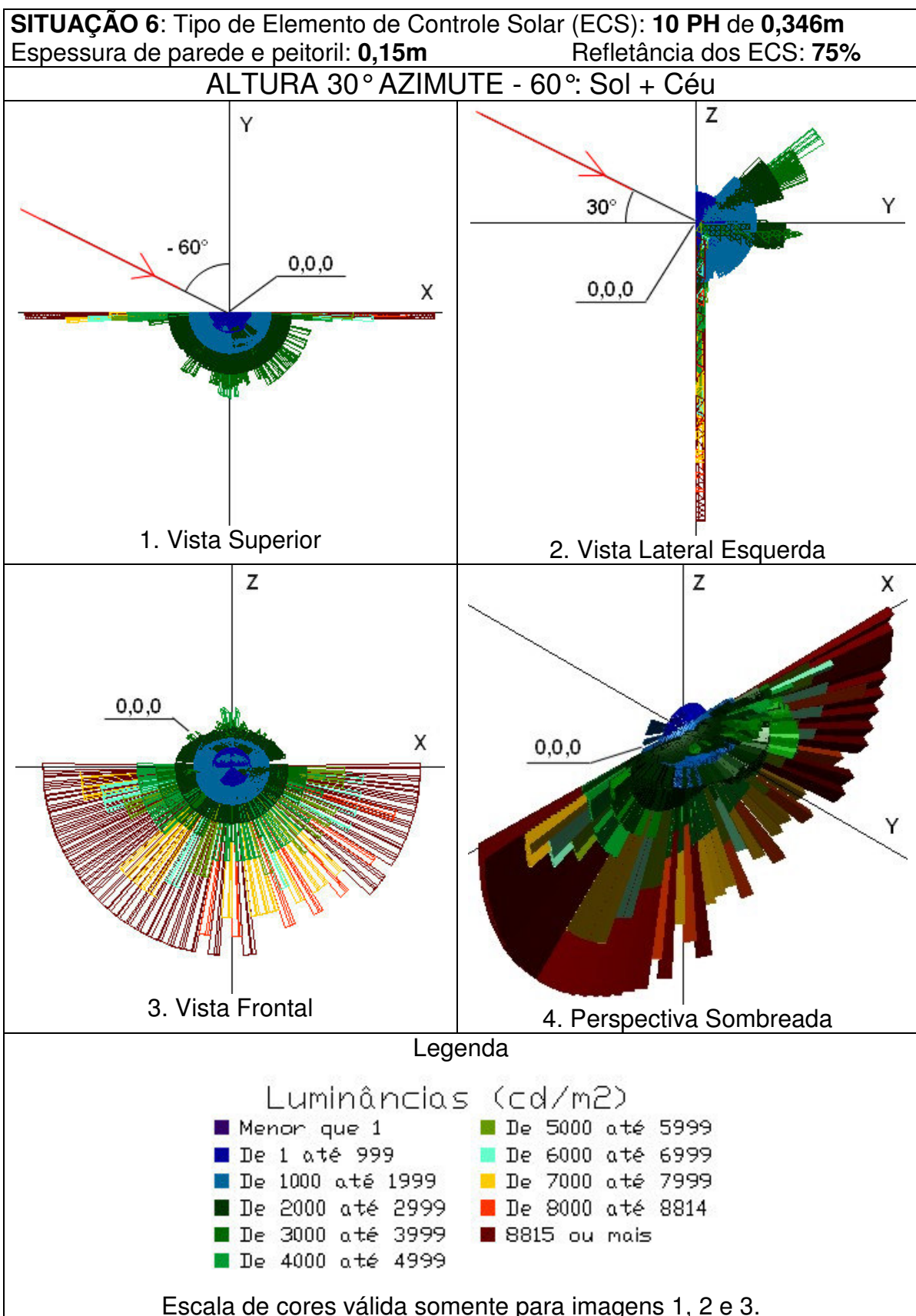


Figura 102 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 6

I - Análise dos Resultados da Situação 6:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado esquerdo), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

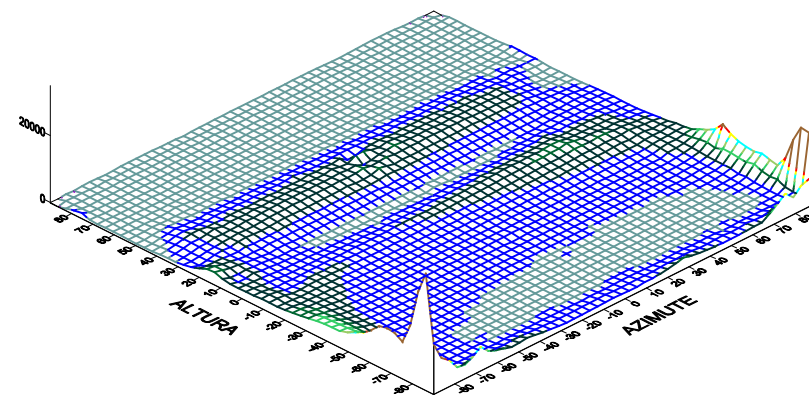
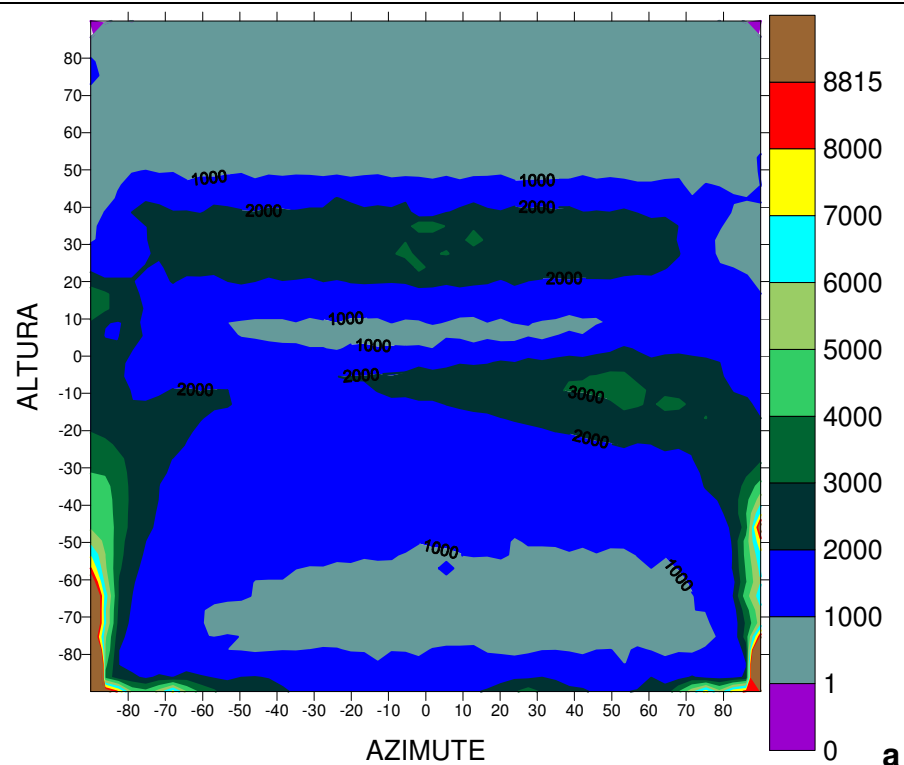
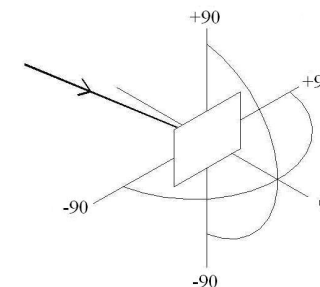
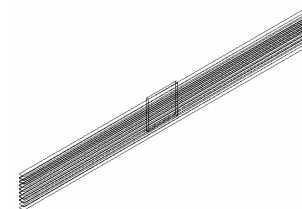
Conforme observado na vista superior, devido ao azimute -60 graus existe uma maior distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na sua maioria até 3.999 cd/m² (na cor verde-escuro). Não foram encontrados os maiores valores de luminância equivalente da janela para o lado oposto ao da incidência de luz, análogos ao da situação 5 similar; no entanto, foram identificados valores de luminância até 3.999 cd/m² (na cor verde-escuro) neste lado esquerdo, representativos dos processos de inter-reflexões entre as placas horizontais. A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute -60° e na direção do hemisfério superior, deve-se a fonte de luz refletida dominante nas placas horizontais, atingindo valores até 4.999 cd/m². Altos valores de L equiv foram identificados para os dois lados da abertura e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria na faixa de 4.000 a 32.000 cd/m² para o lado esquerdo e de 4.000 a 24.000 cd/m² para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais na incidência de altura 30 graus, com valores na sua maioria desde 2.000 cd/m² (na cor verde-forte) a 4.999 cd/m² (na cor verde). Altos valores de L equiv foram identificados junto à parte inferior do hemisfério e para os dois lados, com valores na maioria entre 12.000 e 32.000 cd/m², representativo do efeito cosseno devido ao alto ângulo da luz admitida desde o centro da abertura; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada segundo as coordenadas altura, azimute e luminância no plano XZ da abertura.

SITUAÇÃO 6: 10 PH de 0,346mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**b****Gráfico 27-** Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 6 com alt. 30° e az. -60°

II- Análise dos Resultados da situação 6:

No gráfico 27a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito junto ao hemisfério inferior devido ao azimute -60° da fonte de luz, assim como também na direção do hemisfério superior devido à luz refletida na placas horizontais, conforme antes identificado na imagem do tipo *dxif* referente desta situação.

Devido à situação de 10 placas horizontais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério superior no lado direito, devido a reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

Os maiores valores de luminâncias estão identificados para os dois hemisférios. Para o hemisfério superior os maiores valores de luminâncias estão identificados principalmente na altura $+20^\circ$ a $+40^\circ$ e azimute -75° a $+70^\circ$, na faixa de 2.000 a 3.000 cd/m^2 (na cor verde-forte); já para o hemisfério inferior os maiores valores estão identificados principalmente na altura -5° a -15° e azimute $+40^\circ$ a $+60^\circ$, na faixa de 3.000 a 4.000 cd/m^2 (na cor verde-forte), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 2.000 cd/m^2 (na cor verde escuro), devido à direção da incidência de luz (azimute -60°).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute -60° , na direção do hemisfério superior e majoritariamente para o lado direito, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais, com os maiores valores de luminância na faixa de 3.000 a 4.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno em altos valores está identificado na cor marrom para os lados direito e esquerdo e na direção do hemisfério inferior, conforme já identificado nas imagens do tipo *dxif*, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Já no gráfico 27b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distorção no cálculo da luminância equivalente da janela devido ao efeito cosseno, com altos valores na cor marrom.

Os dois gráficos 27 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dxif*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

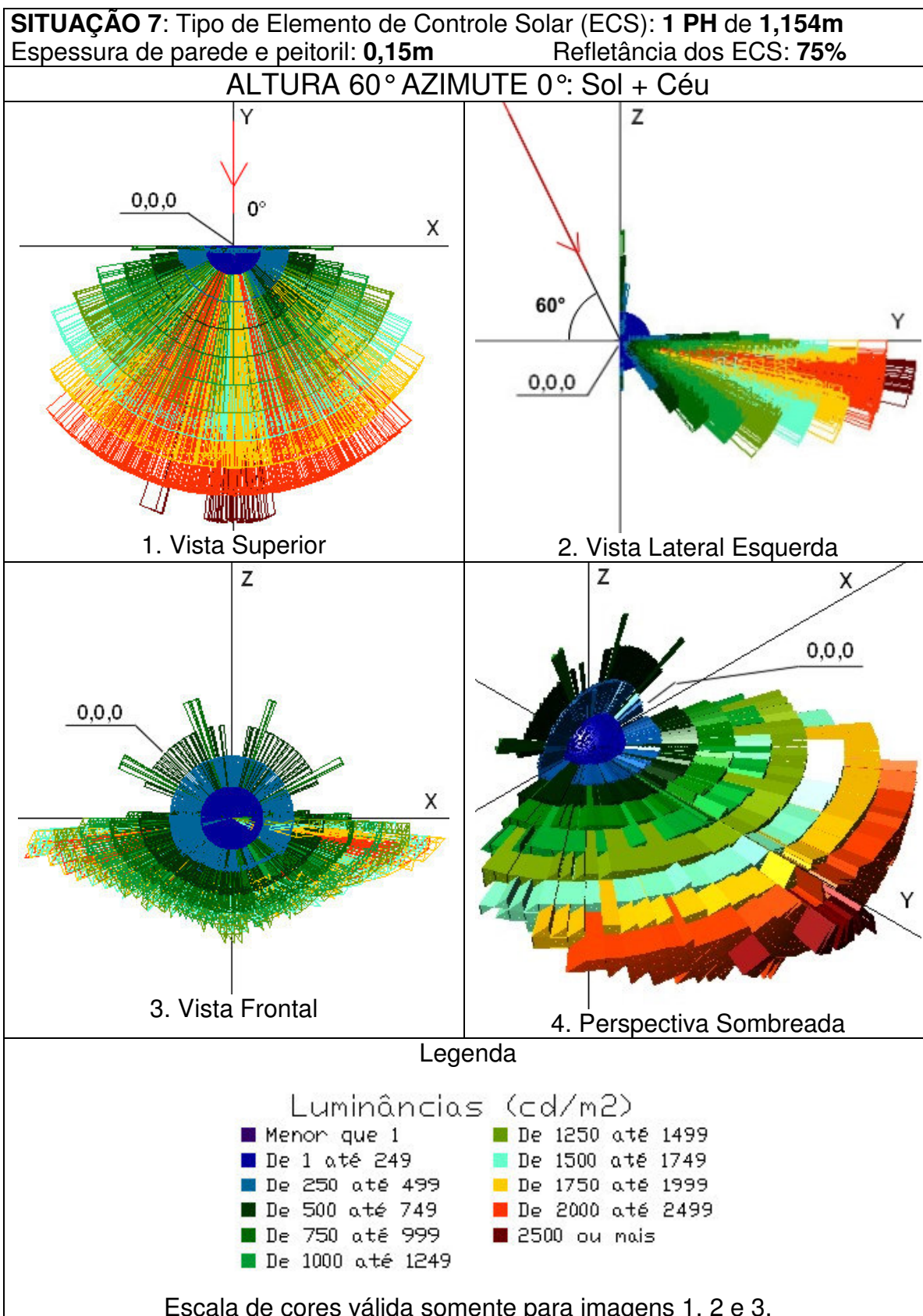


Figura 103 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 7

I - Análise dos Resultados da Situação 7:

Nesta situação, a existência de 1 placa horizontal sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol perpendiculares à abertura, sendo a luz admitida proveniente somente do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth zero existe uma distribuição simétrica dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da janela (ponto 0,0,0) para os lados direito e esquerdo, com valores na sua maioria até 2.499 cd/m^2 (na cor vermelha), e máximos acima de 2.500 cd/m^2 (na cor marrom). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimuth 0° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimuth e com a altura 60° , atingindo valores acima de 2.500 cd/m^2 . Valores de L_{equiv} na sua maioria até 1.000 cd/m^2 foram identificados para os dois lados da janela, representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

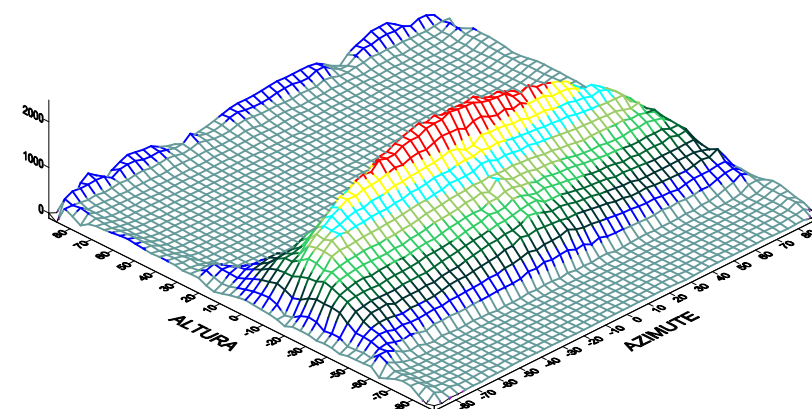
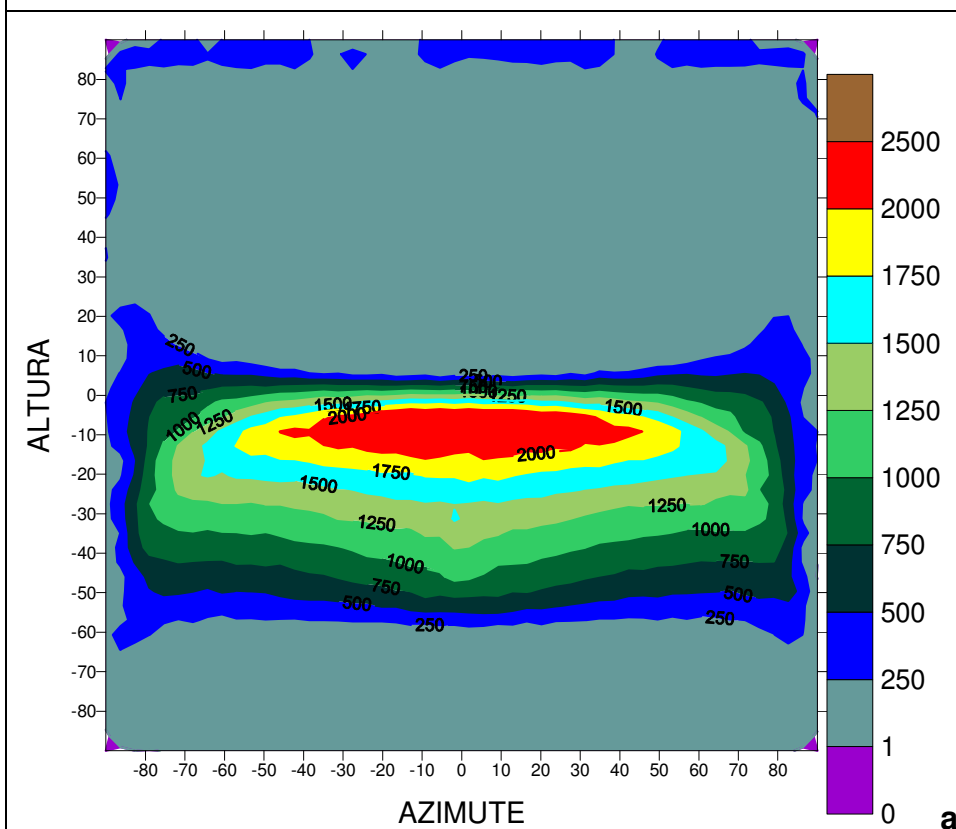
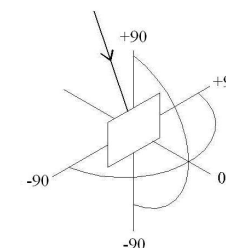
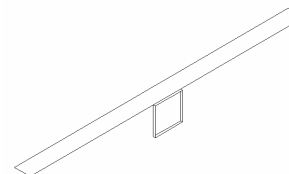
Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural difusa admitida com valores na sua maioria até 2.499 cd/m^2 (na cor vermelha) e máximos acima de 2.500 cd/m^2 (na cor marrom). O efeito da reflexão da luz na espessura do peitoril com refletância de 75% está representado junto ao hemisfério superior, com valores na sua maioria de 1 a 249 cd/m^2 (na cor azul-escuro). Foram identificados ainda valores de L_{equiv} na direção da parte inferior da abertura, representativo do efeito cosseno; estes valores na sua maioria estão entre 250 e 1.000 cd/m^2 para o hemisfério superior e entre 250 e 750 cd/m^2 para o hemisfério inferior.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido à luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno, tanto para os dois lados como na direção do hemisfério inferior.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 7: 1 PH de 1,154mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como um marquise

**Gráfico 28** – Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 7 com altura 60° e azimute 0°

II- Análise dos Resultados da situação 7:

No gráfico 28a anterior identifica-se a simetria dos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para os lados direito e esquerdo (azimutes positivos e negativos), com predominância para o hemisfério inferior (alturas negativas), conforme antes identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido à situação de apenas 1 placa horizontal sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes apenas da luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério inferior.

Os maiores valores de luminâncias estão identificados principalmente para o hemisfério inferior desde altura -5° a -15° e azimuth -35° a $+40^{\circ}$, na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 (na cor vermelho), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 500 cd/m^2 (na cor verde-escuro).

A direcionalidade da luz decorrente do azimuth 0° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimuth e com altura 60° , atingindo os maiores valores na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 .

Nesta situação 7 de análise não foi identificado o efeito da distorção com altos valores da luminância equivalente da janela, como ocorreu em outras situações.

Já no gráfico 28b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distribuição dos valores de luminância equivalente da janela, com maiores valores na direção do hemisfério inferior, conforme antes explicado.

Os dois gráficos 28 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial da luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

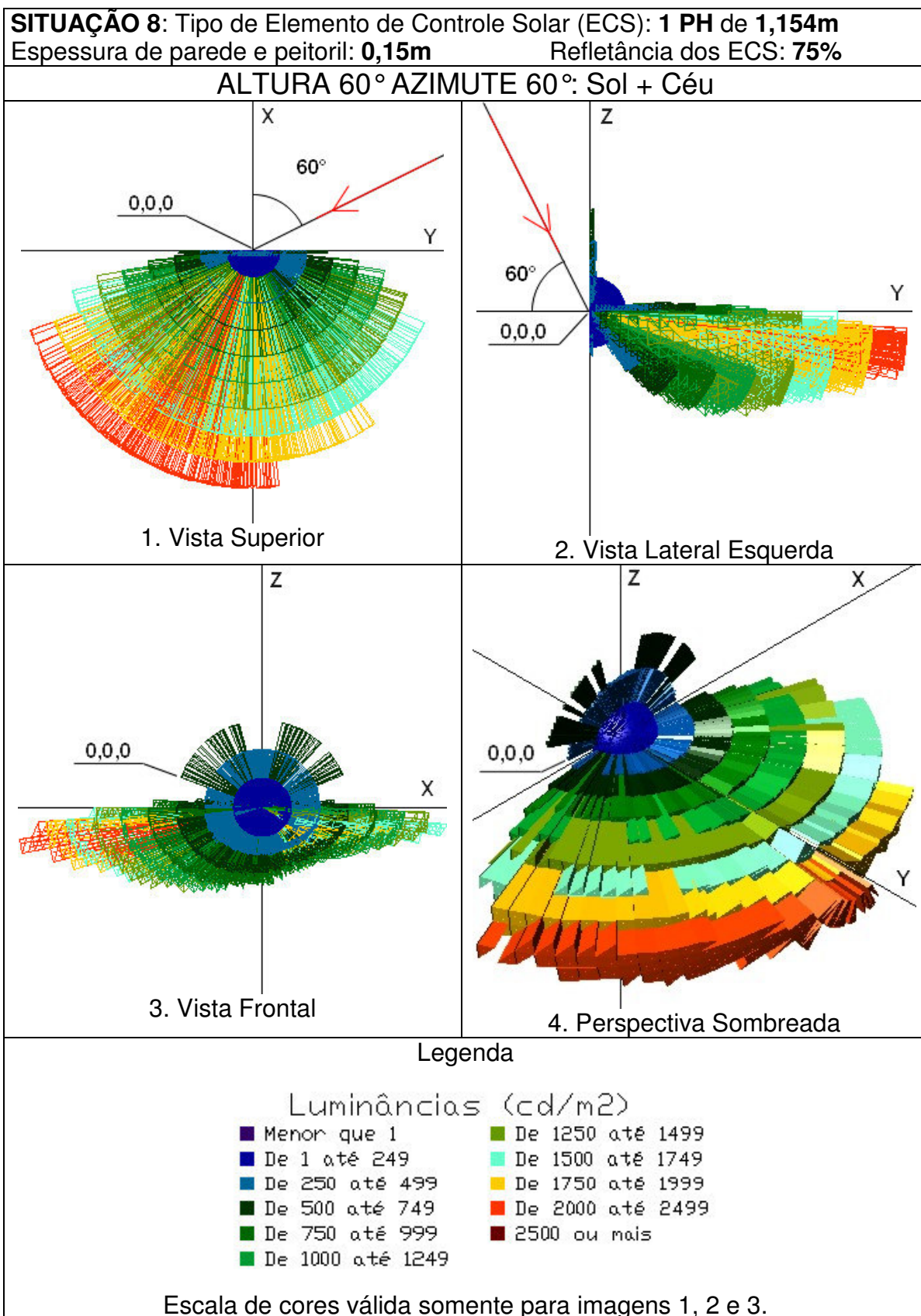


Figura 104 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 8

I - Análise dos Resultados da Situação 8:

Nesta situação, a existência de 1 placa horizontal sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente somente do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimute 60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado esquerdo, com valores até 2.499 cd/m^2 (na cor vermelha). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute 60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se a fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com a altura 60°, atingindo valores na faixa de 2.000 a 2.499 cd/m^2 . Valores de L equiv foram identificados para os dois lados da abertura e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria até 750 cd/m^2 (na cor verde forte) para o lado esquerdo e direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

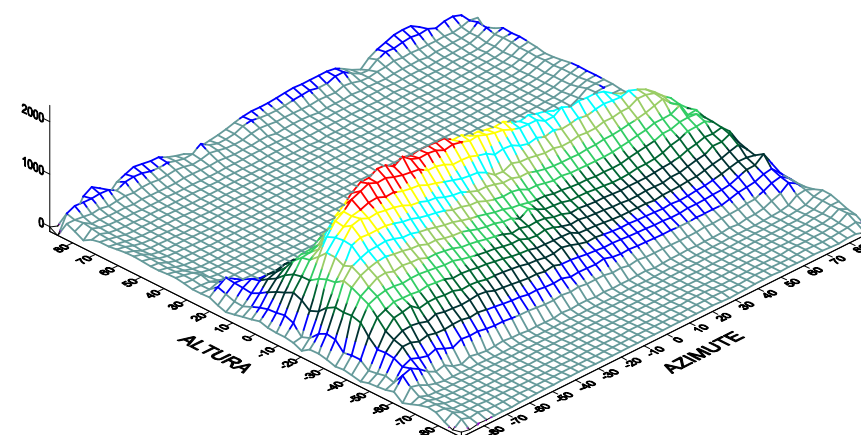
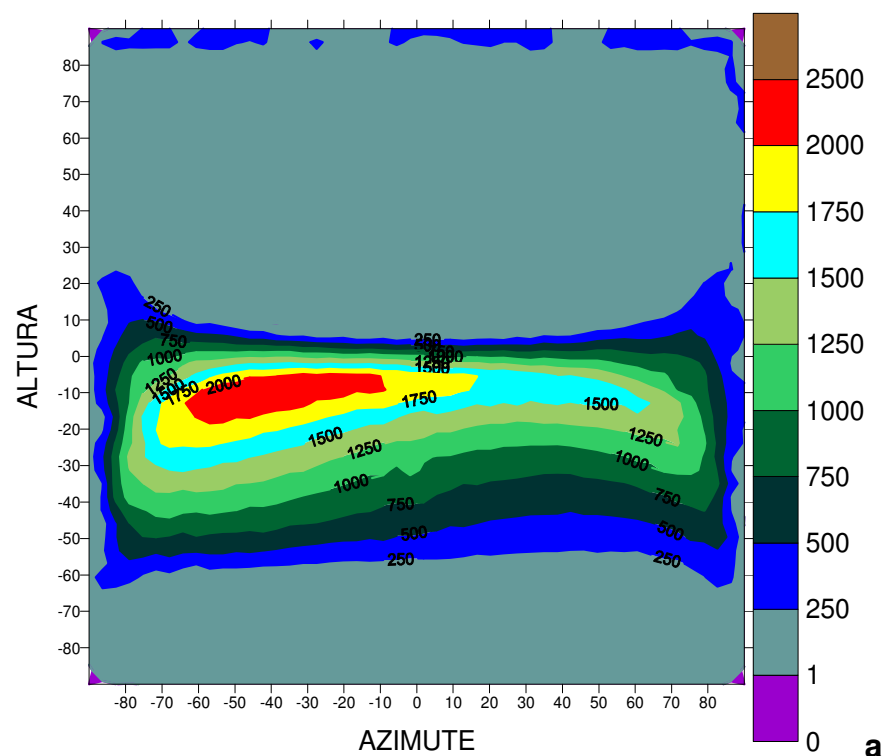
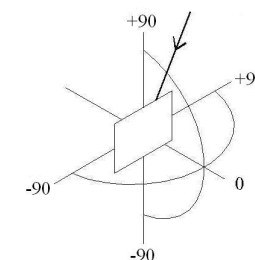
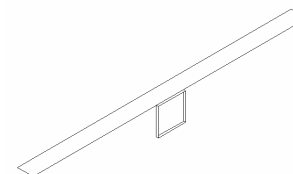
Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural difusa admitida, com valores na sua maioria até 2.499 cd/m^2 (na cor vermelha). O efeito da reflexão da luz na espessura do peitoril com refletância de 75% está representado na direção do hemisfério superior, com valores na sua maioria até 249 cd/m^2 . Foram identificados ainda valores de L equiv na direção da parte inferior da abertura, representativos do efeito cosseno, na faixa até 750 cd/m^2 para o hemisfério superior e até 500 cd/m^2 para o hemisfério inferior.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada desde o centro da janela (ponto 0,0,0), com os maiores valores no lado da direção do azimute de luz incidente.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 8: 1 PH de 1,154mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como um marquise

**Gráfico 29**– Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 8 com altura 60° e azimute 60°

II- Análise dos Resultados da situação 8:

No gráfico 29a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado esquerdo devido ao azimute 60° da fonte de luz, com predominância para o hemisfério inferior (alturas negativas), conforme antes identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido à situação de apenas 1 placa horizontal sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes apenas da luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério inferior e no lado esquerdo, devido à direção de incidência de luz (azimute 60°).

Os maiores valores de luminâncias estão identificados para o hemisfério inferior desde altura -5° a -18° e azimute -10° a -65° , na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 (na cor vermelho), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 1.000 cd/m^2 (na cor verde).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com altura 60° , atingindo valores na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 .

Nesta situação 8 de análise não foi identificado o efeito da distorção com altos valores da luminância equivalente da janela, como ocorreu em outras situações.

Já no gráfico 29b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distribuição dos valores de luminância equivalente da janela, com maiores valores na direção do hemisfério inferior, conforme antes explicado.

Os dois gráficos 29 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial da luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

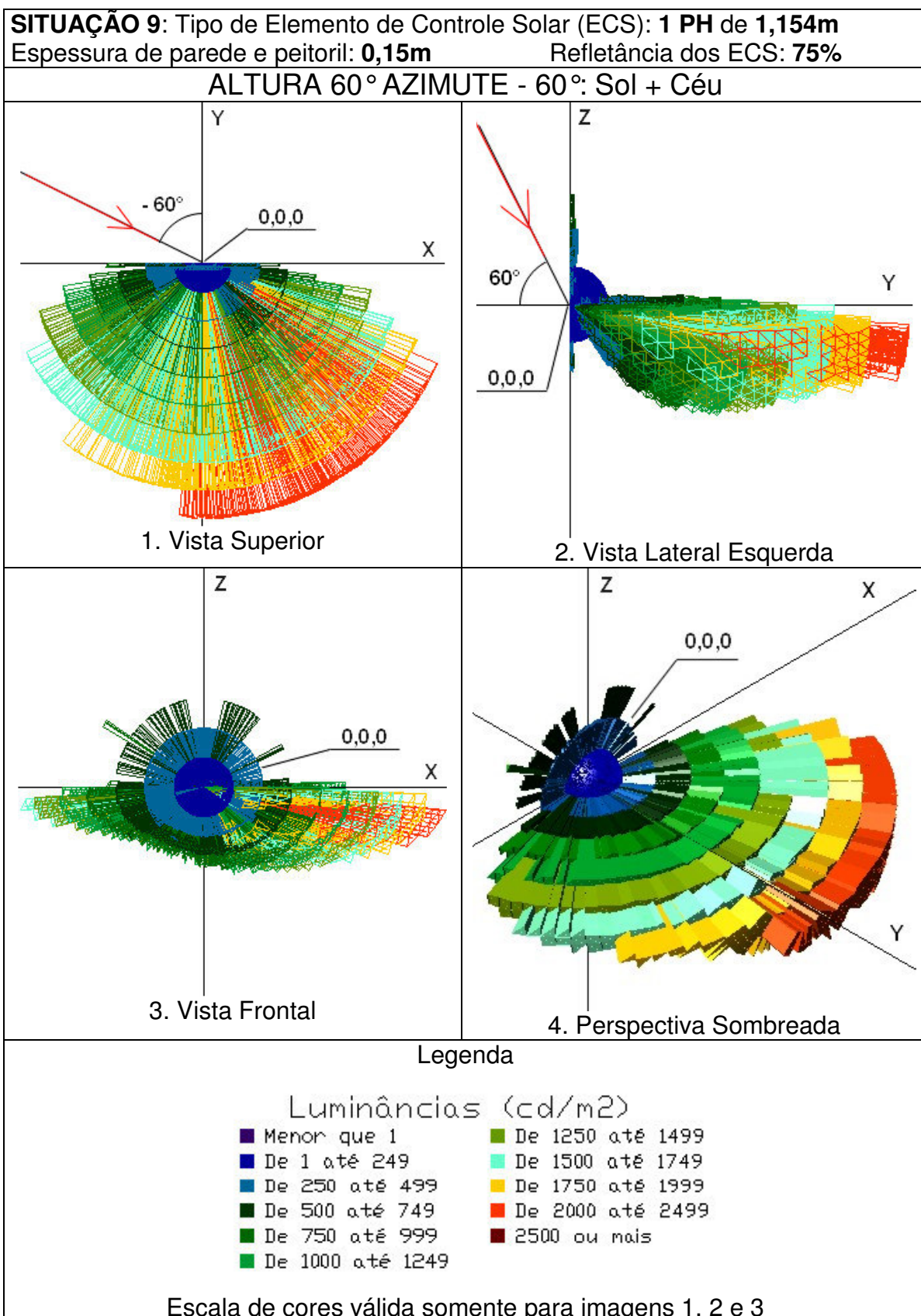


Figura 105 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 9

I - Análise dos Resultados da Situação 9:

Nesta situação, a existência de 1 placa horizontal sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado esquerdo), sendo a luz admitida proveniente somente do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimute - 60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na maioria até 2.499 cd/m² (na cor vermelha). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimute -60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se a fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com a altura 60°, atingindo valores na faixa de 2.000 a 2.499 cd/m². Valores de L equiv foram identificados para os dois lados da abertura e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria até 750 cd/m² (na cor verde forte) para o lado direito e até 1.000 cd/m² para o lado esquerdo, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

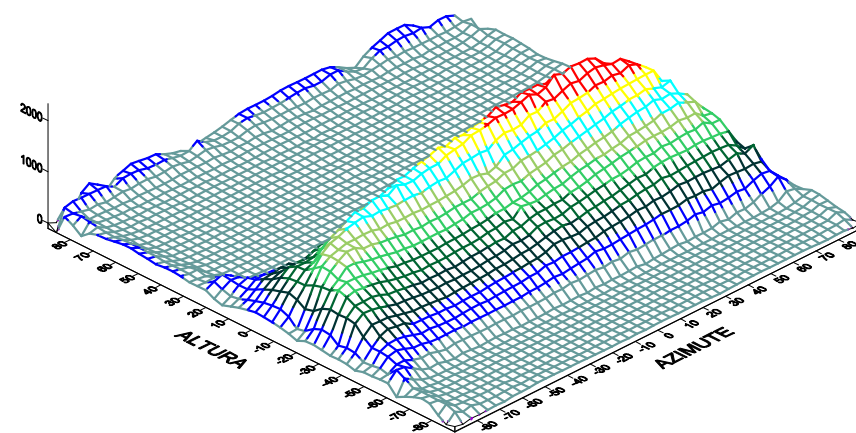
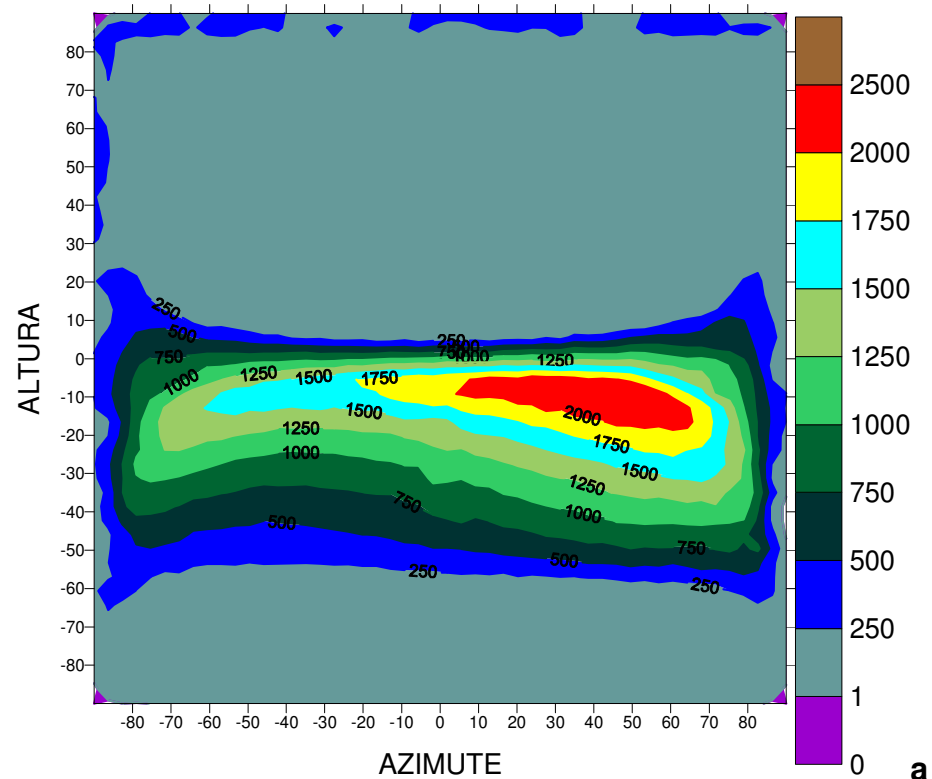
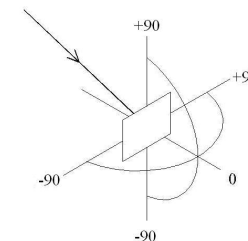
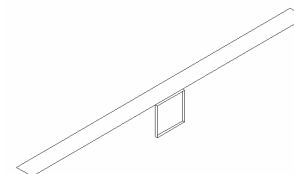
Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural difusa admitida, com valores na sua maioria até 2.499 cd/m² (na cor vermelha). O efeito da reflexão da luz na espessura do peitoril com refletância de 75% está representado na direção do hemisfério superior, com valores na sua maioria até 249 cd/m². Foram identificados ainda valores de L equiv na direção da parte inferior da janela, representativo do efeito cosseno, na faixa até 1.000 cd/m² para o hemisfério superior e até 750 cd/m² para o hemisfério inferior.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada desde o centro da janela (ponto 0,0,0), com os maiores valores no lado da direção do azimute de luz incidente.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 9: 1 PH de 1,154mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

1 placa horizontal sobre a janela como um marquise

**Gráfico 30**– Luminância equivalente da janela (L_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 9 com alt. 60° e az. -60°

II- Análise dos Resultados da situação 9:

No gráfico 30a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito devido ao azimute -60° da fonte de luz, com predominância para o hemisfério inferior (alturas negativas), conforme antes identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido à situação de apenas 1 placa horizontal sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes apenas da luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério inferior e no lado esquerdo, devido a direção de incidência de luz (azimute -60°).

Os maiores valores de luminâncias estão identificados para o hemisfério inferior desde altura -5° a -18° e azimute $+5^\circ$ a $+68^\circ$, na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 (na cor vermelho), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 1.000 cd/m^2 (na cor verde).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute -60° e na direção do hemisfério inferior, deve-se à fonte de luz difusa existente, com maior luminância do céu nesta direção de azimute e com altura 60° , atingindo valores na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 .

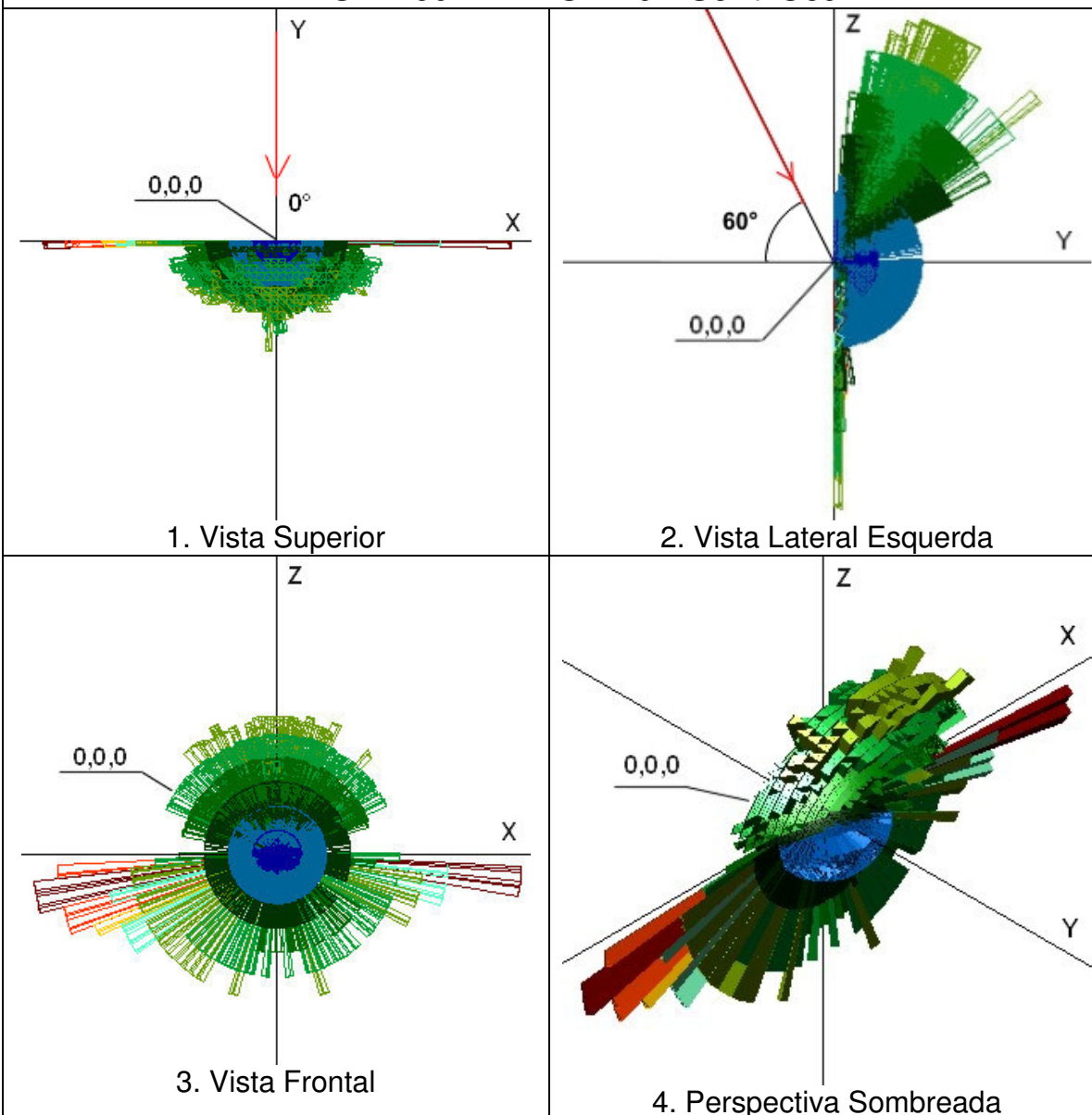
Nesta situação 9 de análise não foi identificado o efeito da distorção com altos valores da luminância equivalente da janela, como ocorreu em outras situações.

Já no gráfico 30b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se claramente a distribuição dos valores de luminância equivalente da janela, com maiores valores na direção do hemisfério inferior, conforme antes explicado.

Os dois gráficos 30 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial da luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 10: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 12500 até 14999
■ De 1 até 2499	■ De 15000 até 17499
■ De 2500 até 4999	■ De 17500 até 19999
■ De 5000 até 7499	■ De 20000 até 21889
■ De 7500 até 9999	■ ≥1890 ou mais
■ De 10000 até 12499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 106 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 10

I - Análise dos Resultados da Situação 10:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol perpendiculares à abertura, sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

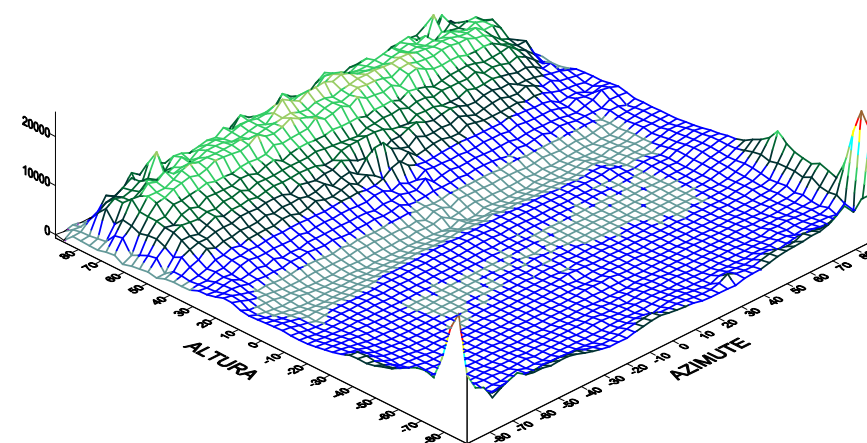
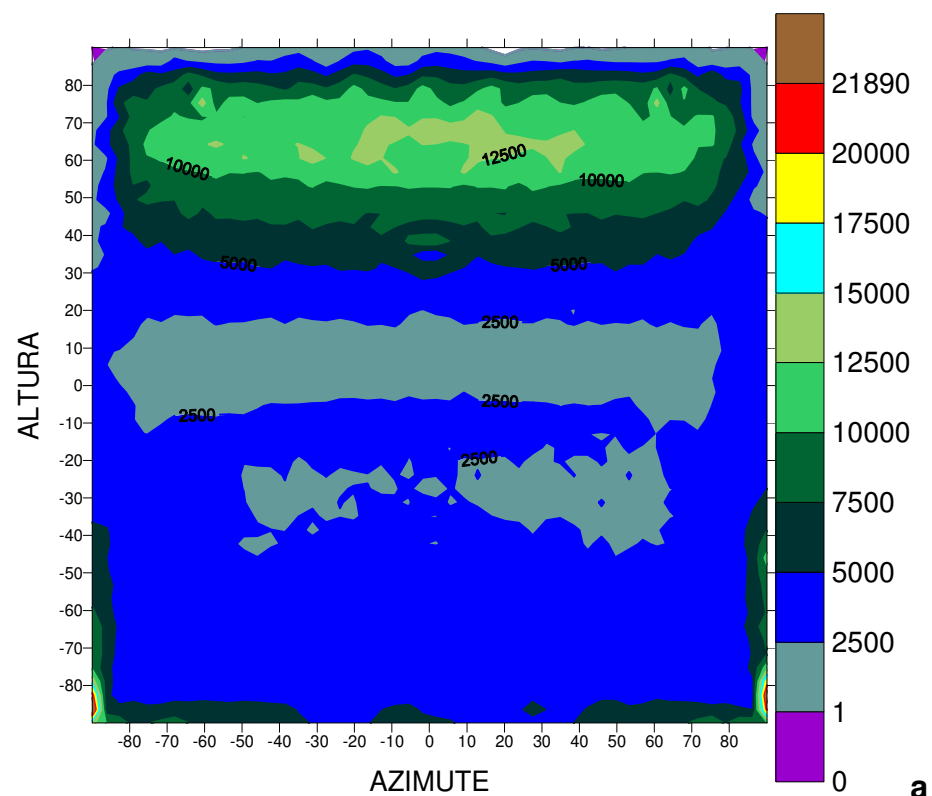
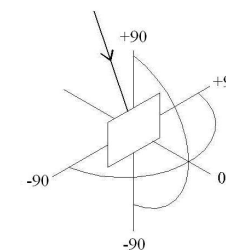
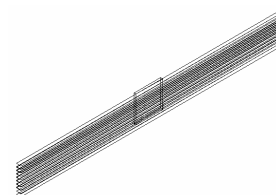
Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth zero existe uma distribuição simétrica dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para os lados direito e esquerdo, com valores na sua maioria até 14.999 cd/m^2 (na cor verde-claro). A direcionalidade identificada da luz junto ao azimuth 0° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida dominante nas placas horizontais, atingindo valores até 14.999 cd/m^2 . Altos valores de L_{equiv} foram identificados para os dois lados da abertura e na direção inferior, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, na sua maioria até 24.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e 27.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais na incidência de altura 60 graus, com valores até 14.999 cd/m^2 (na cor verde-claro). Foram identificados valores de luminância até 4.999 cd/m^2 (na cor azul) na direção do hemisfério inferior, representativos dos processos de inter-reflexões entre as placas horizontais. Também foram identificados ainda valores de L_{equiv} próximo a parte inferior da abertura, representativos do efeito cosseno, na faixa até 24.000 cd/m^2 na direção do hemisfério inferior e até 9.000 cd/m^2 na direção do hemisfério superior; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 10: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 31**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m²) em imagem 3D para situação 10 com altura 60° e azimuth 0°

II- Análise dos Resultados da situação 10:

No gráfico 31a anterior identifica-se a simetria dos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para os lados direito e esquerdo (azimutes positivos e negativos) devido ao azimute 0° da fonte de luz, com distribuição para os hemisférios superior (maiores valores) e inferior, conforme antes identificado na imagem do tipo *dx**f* referente a esta situação de análise.

Devido à situação de 10 placas horizontais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério superior devido a reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

O maior valor de luminâncias está identificado para o hemisfério superior junto a altura $+65^\circ$, principalmente entre os azimutes -20° a $+40^\circ$, na faixa de 12.500 a 15.000 cd/m^2 (na cor verde-claro), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 5.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro). Esta tendência de maiores valores de luminância na direção do hemisfério superior é devido ao efeito da luz refletida nas placas horizontais, conforme já observado nas imagens do tipo *dx**f* desta situação.

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 0° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais, com os maiores valores de luminância na faixa de 12.500 a 15.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 5.000 a 21.890 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Os dois gráficos 31 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada dos valores existentes segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 11: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu

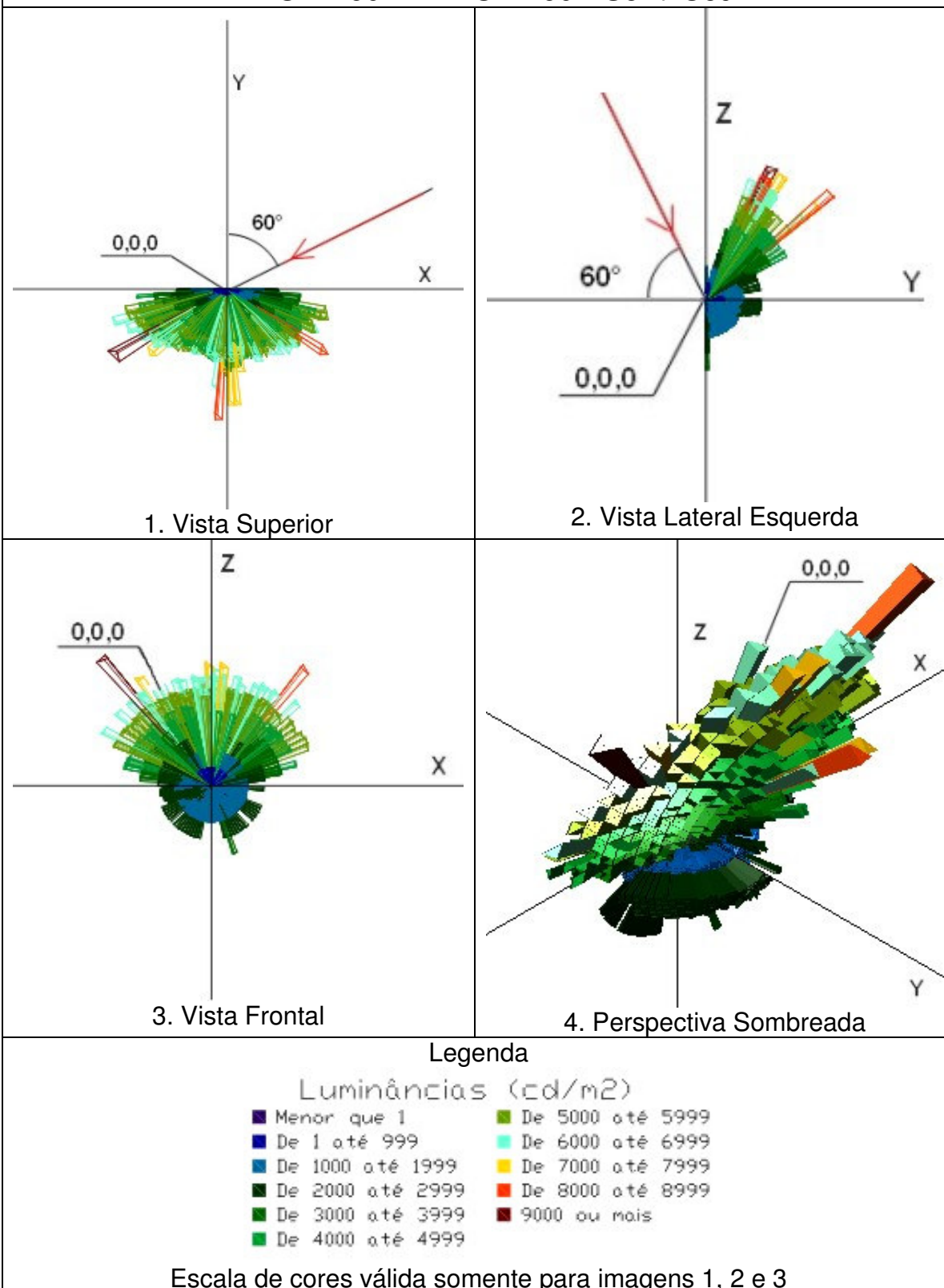


Figura 107 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 11

I - Análise dos Resultados da Situação 11:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

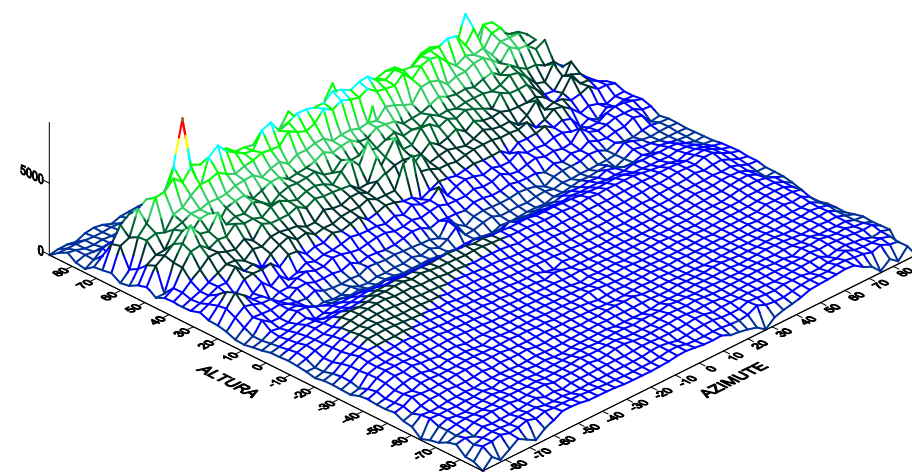
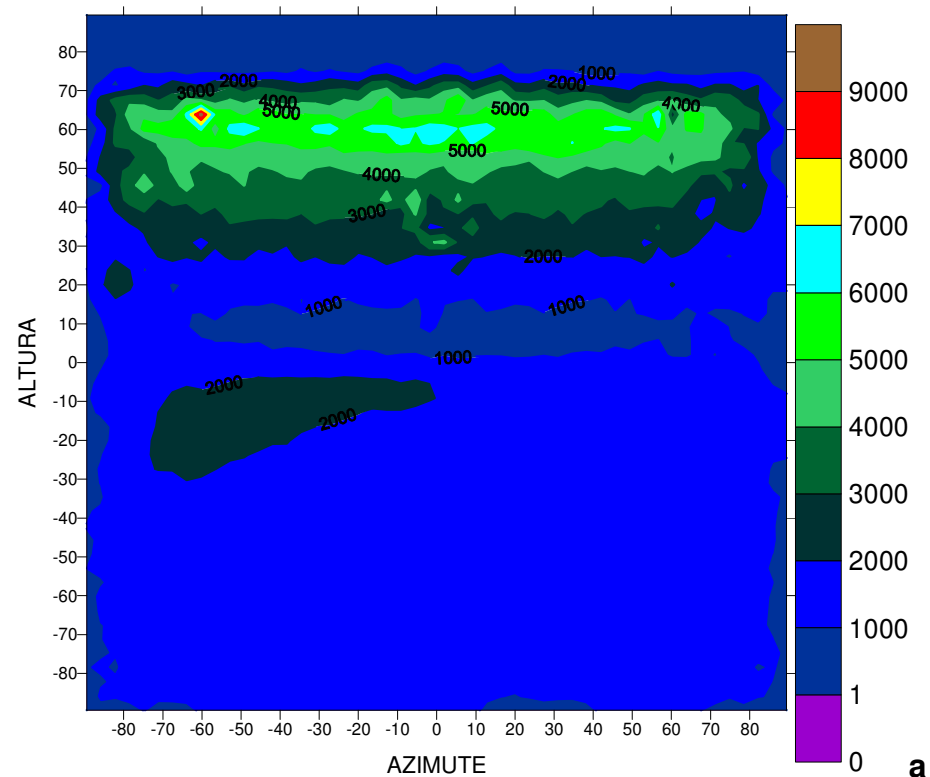
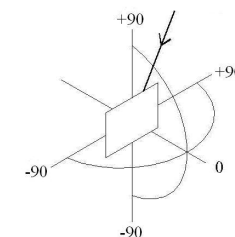
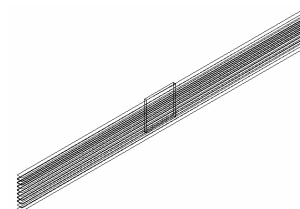
Conforme observado na vista superior, devido ao azimute 60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para vários lados devido à admissão de luz refletida nas placas horizontais. Com a reflexão da luz solar nas placas horizontais e na espessura de parede com refletância de 75%, foram identificados valores dominantes de luminância equivalente da janela na faixa até 6.999 cd/m^2 (na cor azul). Valores de L_{equiv} até 2.999 cd/m^2 foram identificados para os dois lados da abertura, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais na incidência de altura 60 graus, com valores dominantes até 6.999 cd/m^2 (na cor azul) na direção do hemisfério superior, e de 2.999 cd/m^2 (na cor verde escuro) na direção do hemisfério inferior. Os valores de L_{equiv} identificados próximo a parte inferior da abertura em até 2.999 cd/m^2 , são representativos do efeito cosseno; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 11: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 32**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m²) em imagem 3D para situação 11 com alt. 60° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 11:

No gráfico 32a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado esquerdo junto ao hemisfério inferior devido ao azimute 60° da fonte de luz, assim como também valores máximos na direção do hemisfério superior devido à luz refletida na placas horizontais, conforme antes identificado na imagem do tipo *dx*f desta situação.

Devido à situação de 10 placas horizontais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério superior, devido a reflexão da luz nas placas horizontais com refletância de 75%.

Os maiores valores de luminâncias estão identificados para o hemisfério superior, identificados majoritariamente desde a altura $+35^\circ$ a $+70^\circ$, no azimute -80° a $+80^\circ$, desde 3.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro), seguindo uma tendência nesta direção com valores máximos até 7.000 cd/m^2 (na cor azul); já para o hemisfério inferior a luminância segue principalmente na direção do lado esquerdo numa altura média de -15° , nos azimutes 0° a -70° , na faixa de 2.000 a 3.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro).

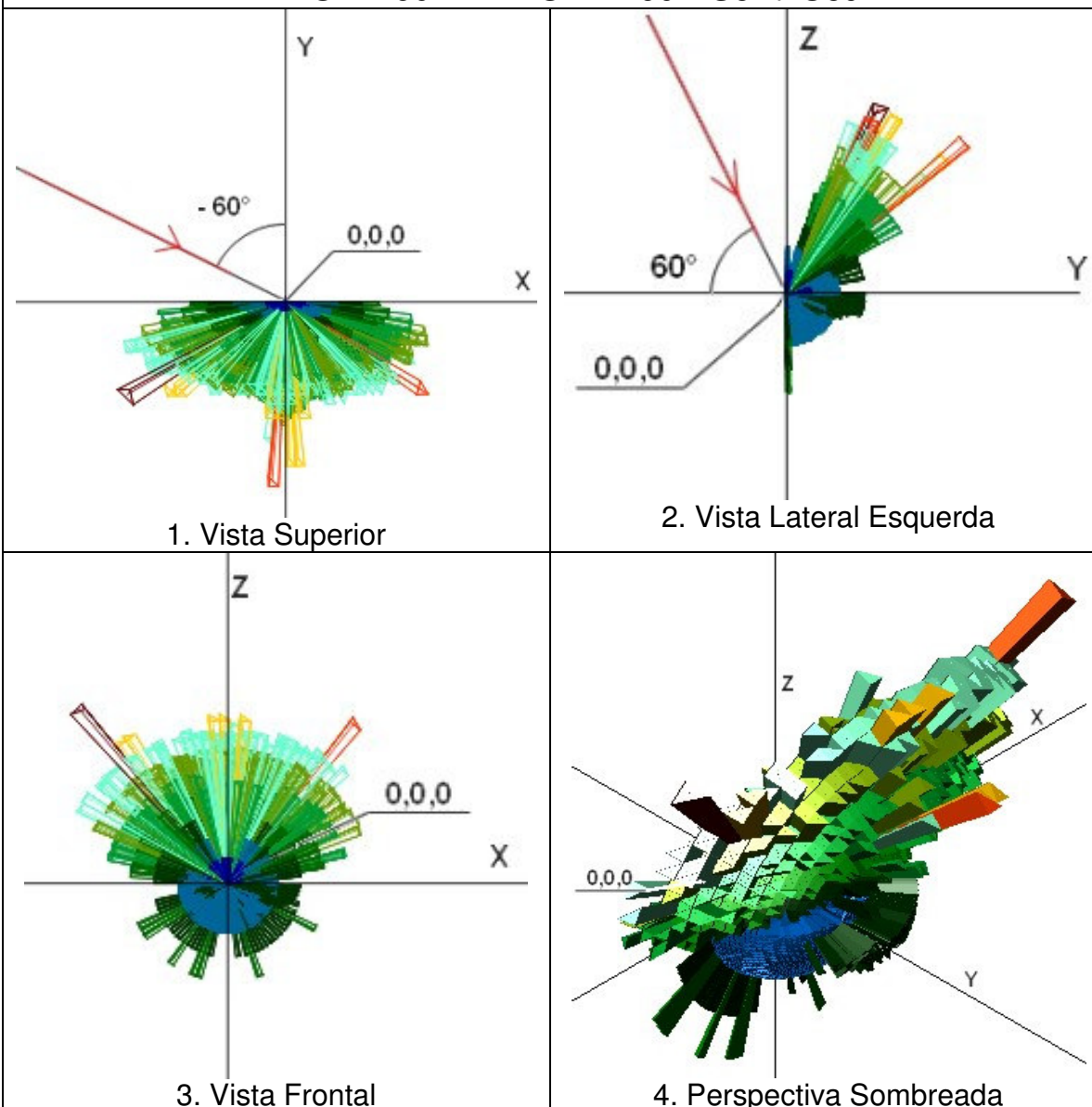
A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° foi identificada na direção do hemisfério inferior e para o lado esquerdo, com valores de luminância na faixa de 2.000 a 3.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado claramente como na imagem do tipo *dx*f anterior.

Os dois gráficos 32 **a** e **b** representam a distribuição espacial da luminância, possibilitando a verificação segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 12: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m^2)

■ Menor que 1	■ De 5000 até 5999
■ De 1 até 999	■ De 6000 até 6999
■ De 1000 até 1999	■ De 7000 até 7999
■ De 2000 até 2999	■ De 8000 até 8999
■ De 3000 até 3999	■ 9000 ou mais
■ De 4000 até 4999	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 108 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 12

I - Análise dos Resultados da Situação 12:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado esquerdo), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

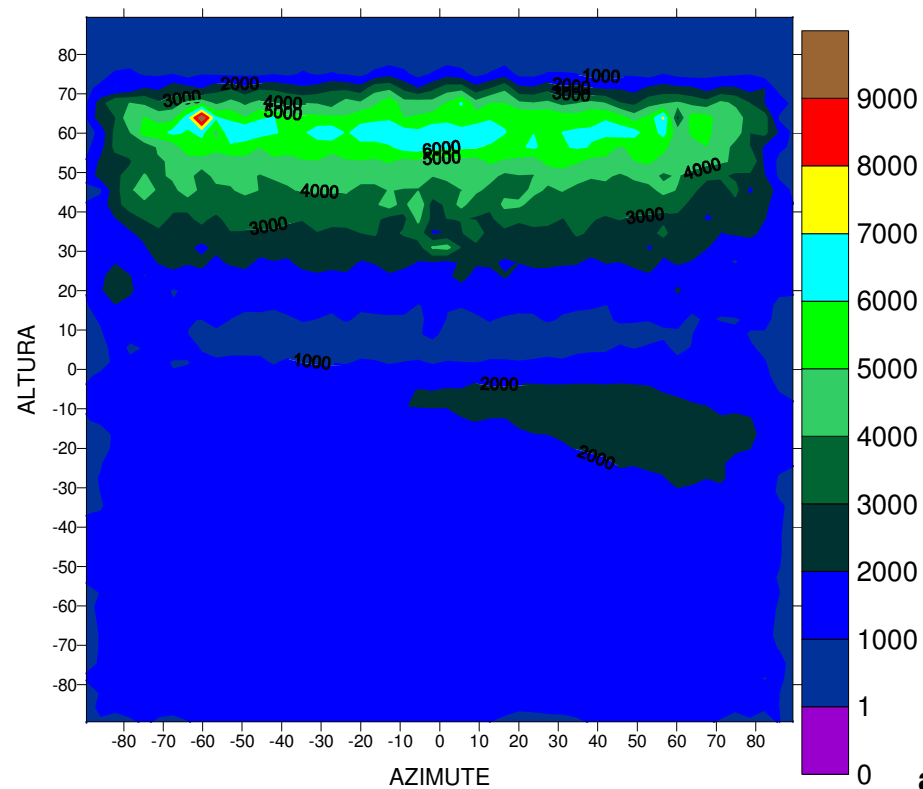
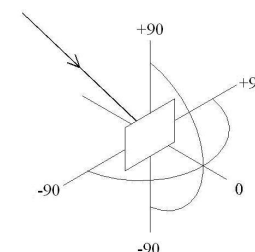
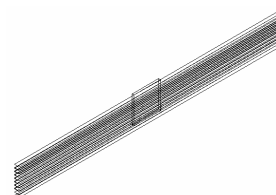
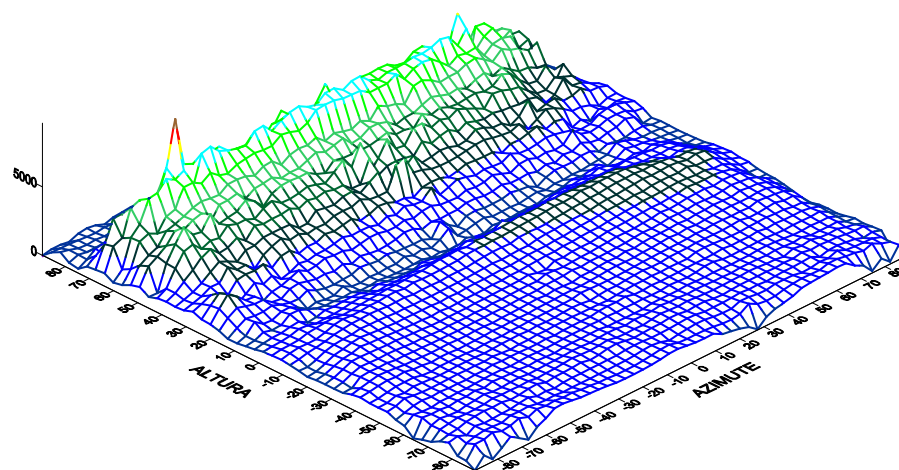
Conforme observado na vista superior, devido ao azimute -60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para vários lados devido à admissão de luz refletida nas placas horizontais. Com a reflexão da luz solar nas placas horizontais e na espessura de parede com refletância de 75%, foram identificados valores dominantes de luminância equivalente da janela na faixa até 6.999 cd/m^2 (na cor azul). Valores de L equiv até 2.999 cd/m^2 foram identificados para os dois lados da abertura, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais na incidência de altura -60 graus, com valores dominantes até 6.999 cd/m^2 (na cor azul) na direção do hemisfério superior, e de 2.999 cd/m^2 (na cor verde escuro) na direção do hemisfério inferior. Os valores de L equiv identificados próximo a parte inferior da abertura em até 2.999 cd/m^2 , são representativos do efeito cosseno; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 12: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**a****b****Gráfico 33**– Luminância equivalente da janela (Le_{equiv} - cd/m^2) em imagem 3D para situação 12 com alt. 60° e az. -60°.

II- Análise dos Resultados da situação 12:

No gráfico 33a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito junto ao hemisfério inferior devido ao azimute -60° da fonte de luz, assim como também valores máximos na direção do hemisfério superior devido à luz refletida na placas horizontais, conforme antes identificado na imagem do tipo *dx*f desta situação.

Devido à situação de 10 placas horizontais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para o hemisfério superior, devido a reflexão da luz nas placas horizontais com refletância de 75%.

Os maiores valores de luminâncias estão identificados para o hemisfério superior, identificados majoritariamente desde a altura $+35^\circ$ a $+70^\circ$, no azimute -80° a $+80^\circ$, desde 3.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro), seguindo uma tendência nesta direção com valores máximos até 7.000 cd/m^2 (na cor azul); já para o hemisfério inferior a luminância segue principalmente na direção do lado esquerdo numa altura média de -15° , nos azimutes 0° a $+80^\circ$, na faixa de 2.000 a 3.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° foi identificada na direção do hemisfério inferior e para o lado esquerdo, com valores de luminância na faixa de 2.000 a 3.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado claramente como na imagem do tipo *dx*f anterior.

Os dois gráficos 33 **a** e **b** representam a distribuição espacial da luminância, possibilitando a verificação segundo altura e azimutes desejados.

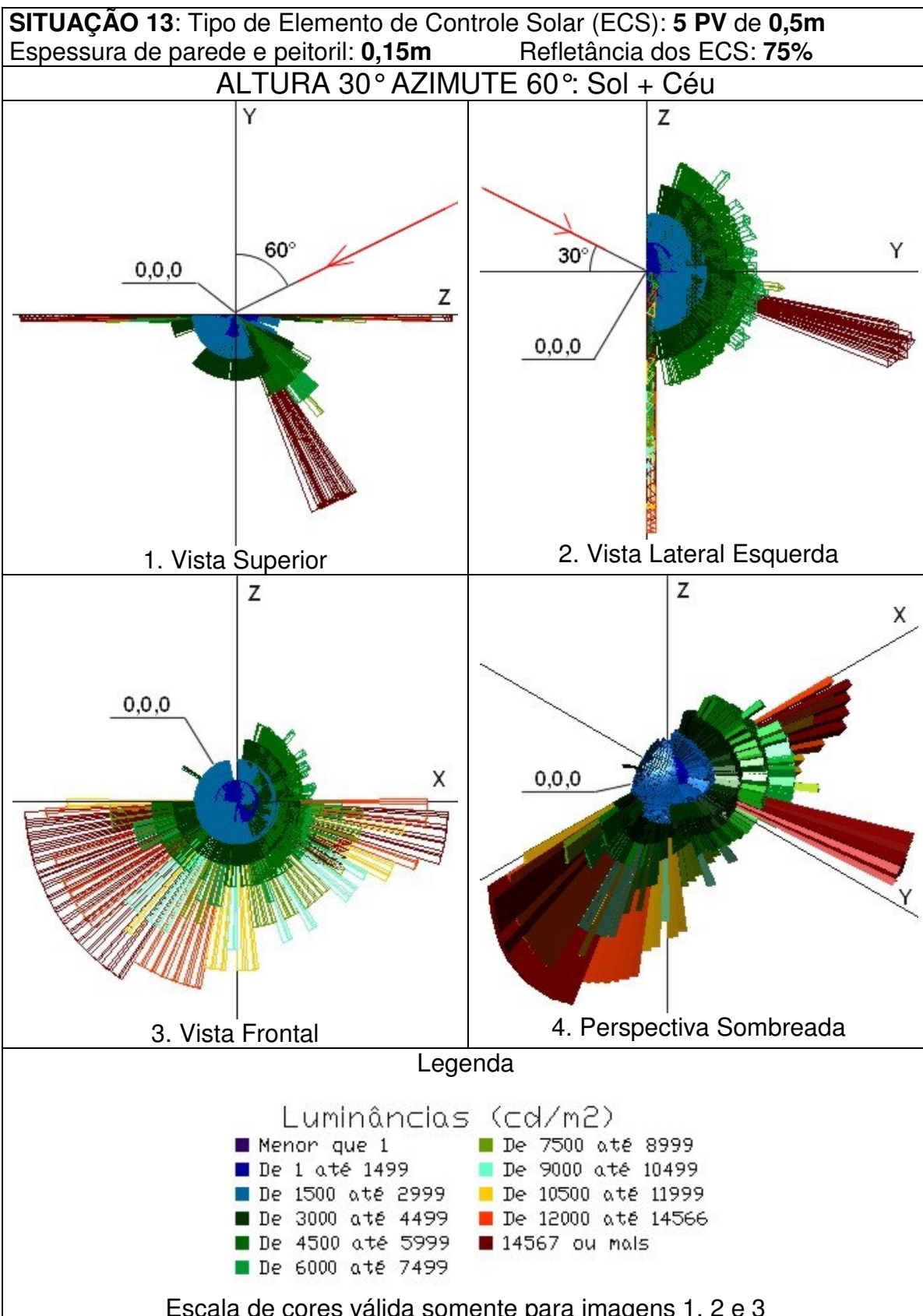


Figura 109 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 13

I - Análise dos Resultados da Situação 13:

Nesta situação, a existência de 5 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth 60 graus existe uma distribuição dominante de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na sua maioria desde 4.500 cd/m² (na cor verde escuro) à 8.999 cd/m² (na cor verde claro), e ainda acima de 14.567 cd/m² (na cor marrom), referentes à reflexão da luz nas placas verticais direcionada para o lado oposto ao da incidência da luz. A direcionalidade identificada da luz para o mesmo lado da sua incidência (azimuth 60°) e predominantemente na direção dos dois hemisférios, deve-se a luz refletida nas placas verticais, atingindo valores majoritários até 7.499 cd/m².

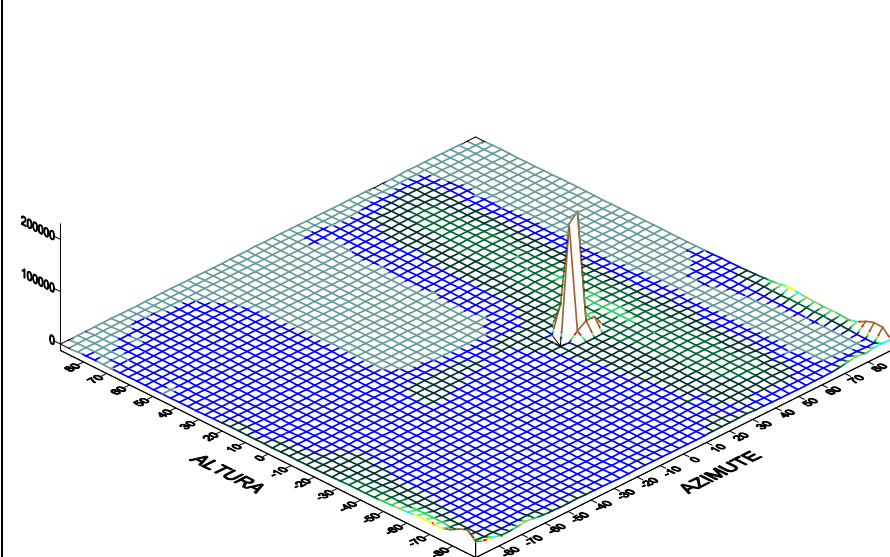
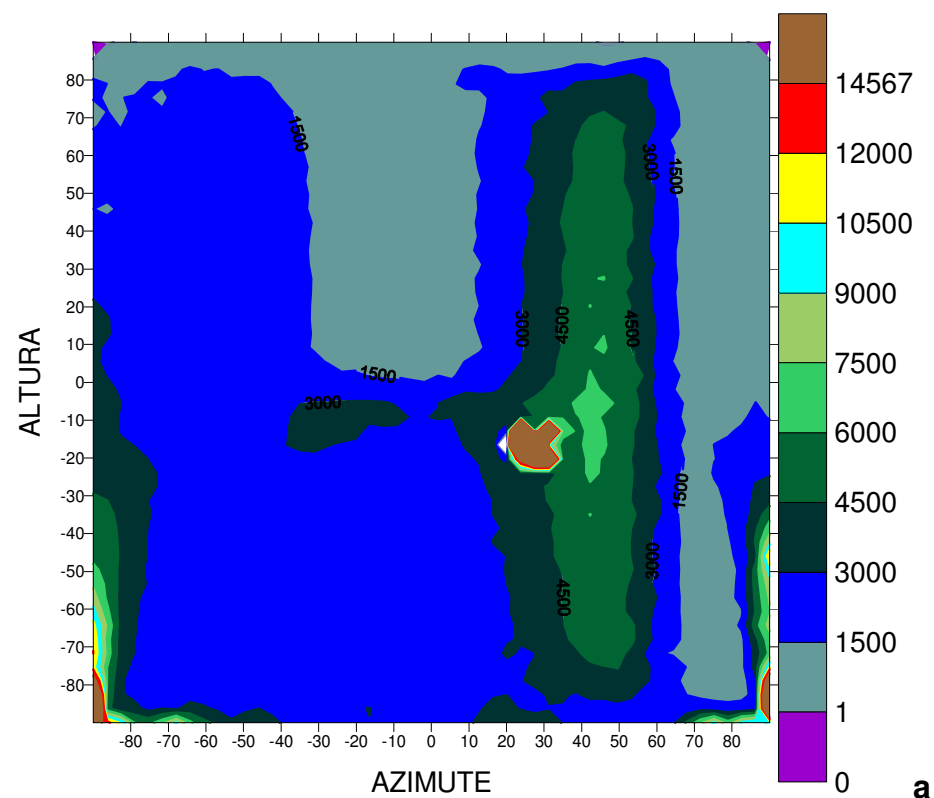
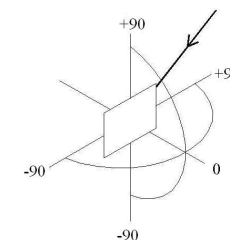
Na vista lateral esquerda identificam-se os maiores valores de L equiv na direção do hemisfério inferior (de 7.500 a 8.999 cd/m² na cor verde-claro; e acima de 14.567 cd/m² na cor marrom), representativos da reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%; no entanto a maior parte dos valores devido à reflexão da luz ocorre tanto para o hemisfério superior como inferior, desde 1.500 a 7.499 cd/m², segundo as direções identificadas na vista 1 anterior. Altos valores de L equiv foram identificados junto à parte inferior da abertura e para os dois lados com valores até 30.000 cd/m² conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno, representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido. Estes altos valores são uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno, tanto para os dois lados como na direção do hemisfério inferior.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 13: 5 PV de 0,5mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

5 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**Gráfico 34**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m²) em imagem 3D para situação 13 com alt. 30° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 13:

No gráfico 34a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito (nos dois hemisférios) devido ao processo de inter-reflexões da luz nas placas verticais, desde a fonte de luz no azimute 60° (mesmo lado direito), mais uma concentração (pico) no lado direito do hemisfério inferior, conforme antes identificado na imagem do tipo *dx*f desta situação.

Devido à situação de 5 placas verticais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para os dois hemisférios no lado direito, devido a reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

Os maiores valores são identificados principalmente para o lado direito na altura $+0^\circ$ a -25° e nos azimutes $+40^\circ$ a $+50^\circ$, na faixa de 6.000 a 7.500 cd/m^2 (na cor verde), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 3.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro). Existe também no hemisfério inferior e lado direito uma concentração (pico) de altos valores de luminância desde altura -10° a -25° e azimute $+20^\circ$ a $+35^\circ$, na faixa acima de 14.567 cd/m^2 (na cor marrom).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° , na direção do hemisfério superior e para o mesmo lado da fonte (lado direito), deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas verticais, com os maiores valores de luminância na faixa de 6.000 a 7.500 cd/m^2 .

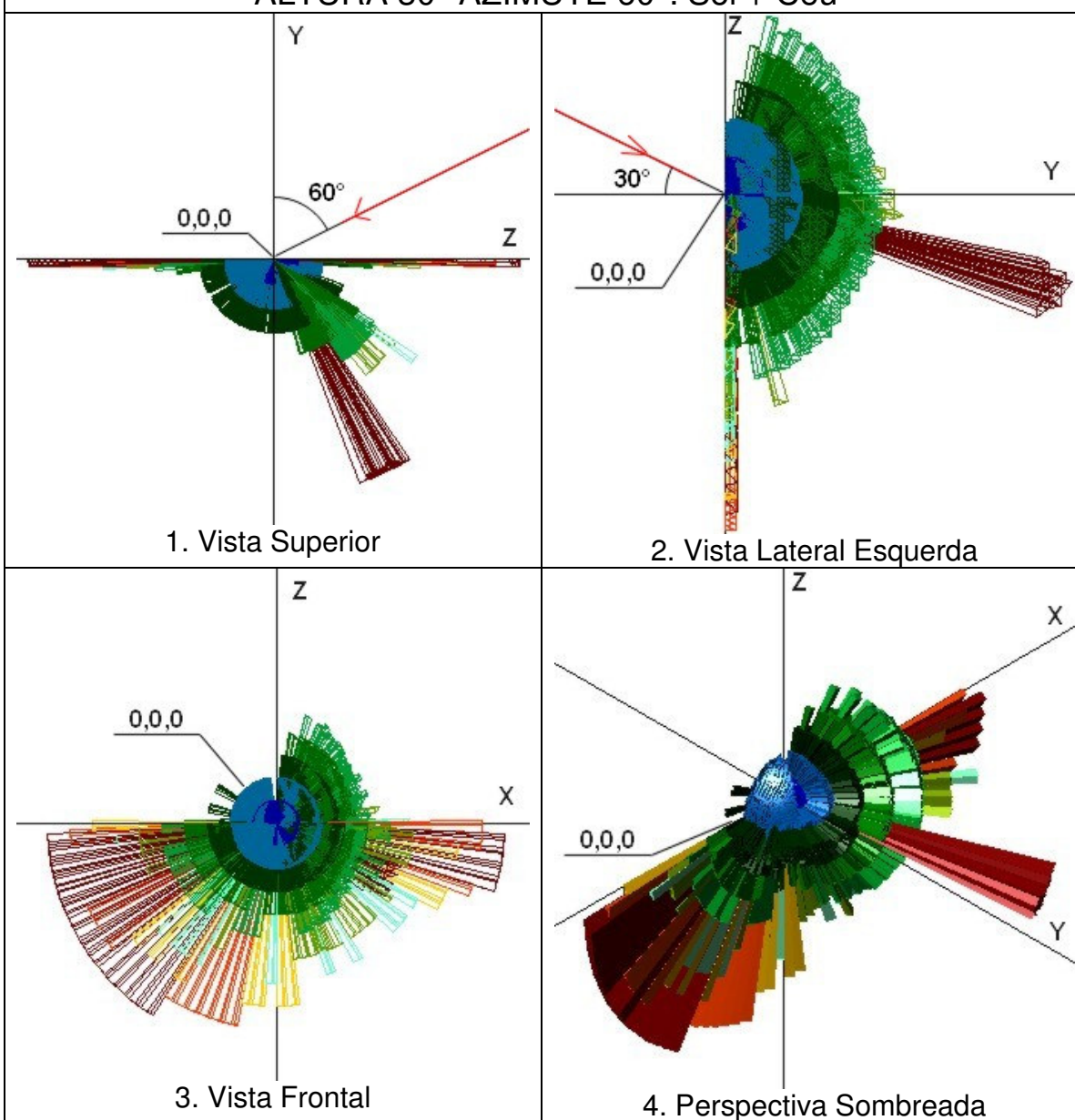
O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 3.000 a 14.567 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Já no gráfico 34b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se aquela concentração (pico) de altos valores de luminância desde altura -10° a -20° e azimute $+20^\circ$ a $+30^\circ$ (na cor marrom).

Os dois gráficos 34 **a** e **b** representam a distribuição espacial da luminância possibilitando a verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 14: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PV** de **0,222m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%**

ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 7500 até 8999
■ De 1 até 1499	■ De 9000 até 10499
■ De 1500 até 2999	■ De 10500 até 11999
■ De 3000 até 4499	■ De 12000 até 14616
■ De 4500 até 5999	■ 14617 ou mais
■ De 6000 até 7499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 110 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 14

I - Análise dos Resultados da Situação 14:

Nesta situação, a existência de 10 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth 60 graus existe uma distribuição dominante de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na sua maioria desde 4.500 cd/m² (na cor verde-escuro) à 10.499 cd/m² (na cor azul-claro), e ainda acima de 14.617 cd/m² (na cor marrom), referentes à reflexão da luz nas placas verticais direcionada para o lado oposto ao da incidência da luz. A direcionalidade identificada da luz para o mesmo lado da sua incidência (azimuth 60°) e predominantemente na direção dos dois hemisférios, deve-se a luz refletida nas placas verticais, atingindo valores majoritários até 7.499 cd/m².

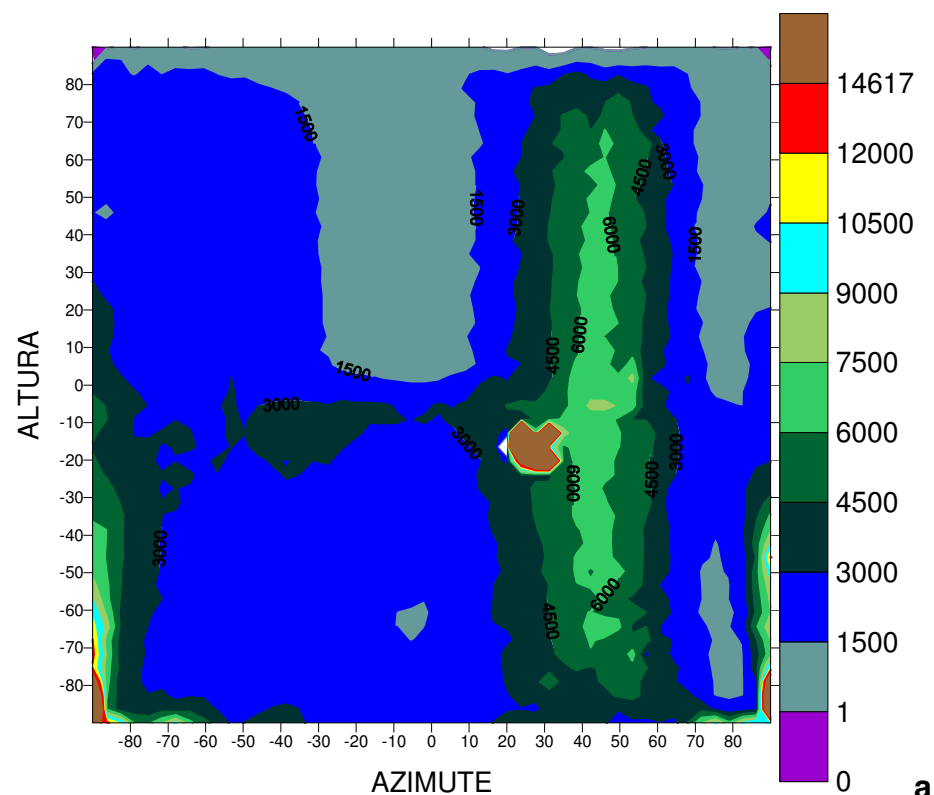
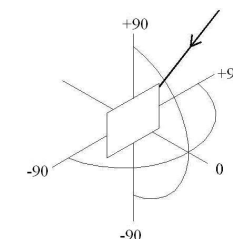
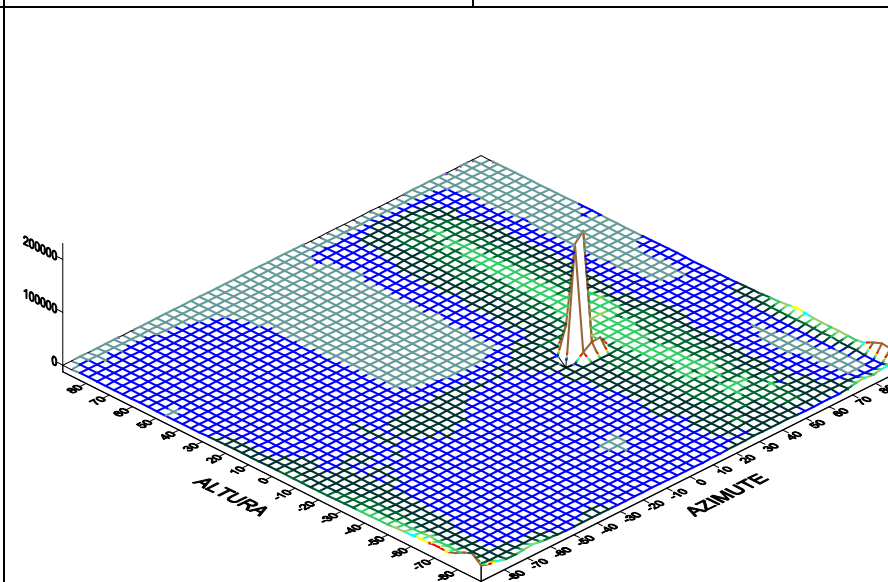
Na vista lateral esquerda identificam-se os maiores valores de L equiv na direção do hemisfério inferior, com valores acima de 14.617 cd/m² (na cor marrom), representativos da reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%; no entanto a maior parte dos valores devido à reflexão da luz ocorre tanto para o hemisfério superior como inferior, desde 1.500 cd/m² (na cor azul) a 7.499 cd/m² (na cor verde), segundo as direções identificadas na vista 1 anterior. Altos valores de L equiv foram identificados próximo a parte inferior da abertura com valores até 25.000 cd/m² e para os dois lados com valores até 30.000 cd/m², representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido. Estes valores fisicamente não são adequados, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido à luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno para os dois lados na direção do hemisfério inferior.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 14: 10 PV de 0,222mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 30° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**a****b****Gráfico 35**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 14 com alt. 30° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 14:

No gráfico 35a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito (mesmo lado da fonte de luz no azimute 60°), nos dois hemisférios, devido ao processo de inter-reflexões da luz nas 10 placas verticais, mais uma concentração (pico) no lado direito do hemisfério inferior, numa representação similar aquela identificada na situação anterior 13 com 5 placas verticais.

Devido à situação de 10 placas verticais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido à luz refletida e à luz difusa, com tendência dominante para os dois hemisférios no lado direito, devido à reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

Os maiores valores são identificados para o lado direito nos dois hemisférios, principalmente na altura $+65^\circ$ a -70° , no azimute $+35^\circ$ a $+50^\circ$, na faixa de 6.000 a 7.500 cd/m^2 (na cor verde), seguindo uma tendência nesta direção com valores desde 3.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro). Existe também no hemisfério inferior e no lado direito uma concentração (pico) de altos valores de luminância desde altura -10° a -25° e azimute $+20^\circ$ a $+35^\circ$, na faixa acima de 14.617 cd/m^2 (na cor marrom), representações estas similares aquelas identificadas na situação anterior de 5 placas verticais.

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° , na direção do hemisfério superior e para o mesmo lado da fonte (lado direito), deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas verticais, com os maiores valores de luminância na faixa de 6.000 a 7.500 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 3.000 a 14.617 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Já no gráfico 35b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se aquela concentração (pico) de altos valores de luminância desde altura -10° a -20° e azimute $+20^\circ$ a $+30^\circ$ (na cor marrom).

Os dois gráficos 35 **a** e **b** representam a distribuição espacial da luminância possibilitando a verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

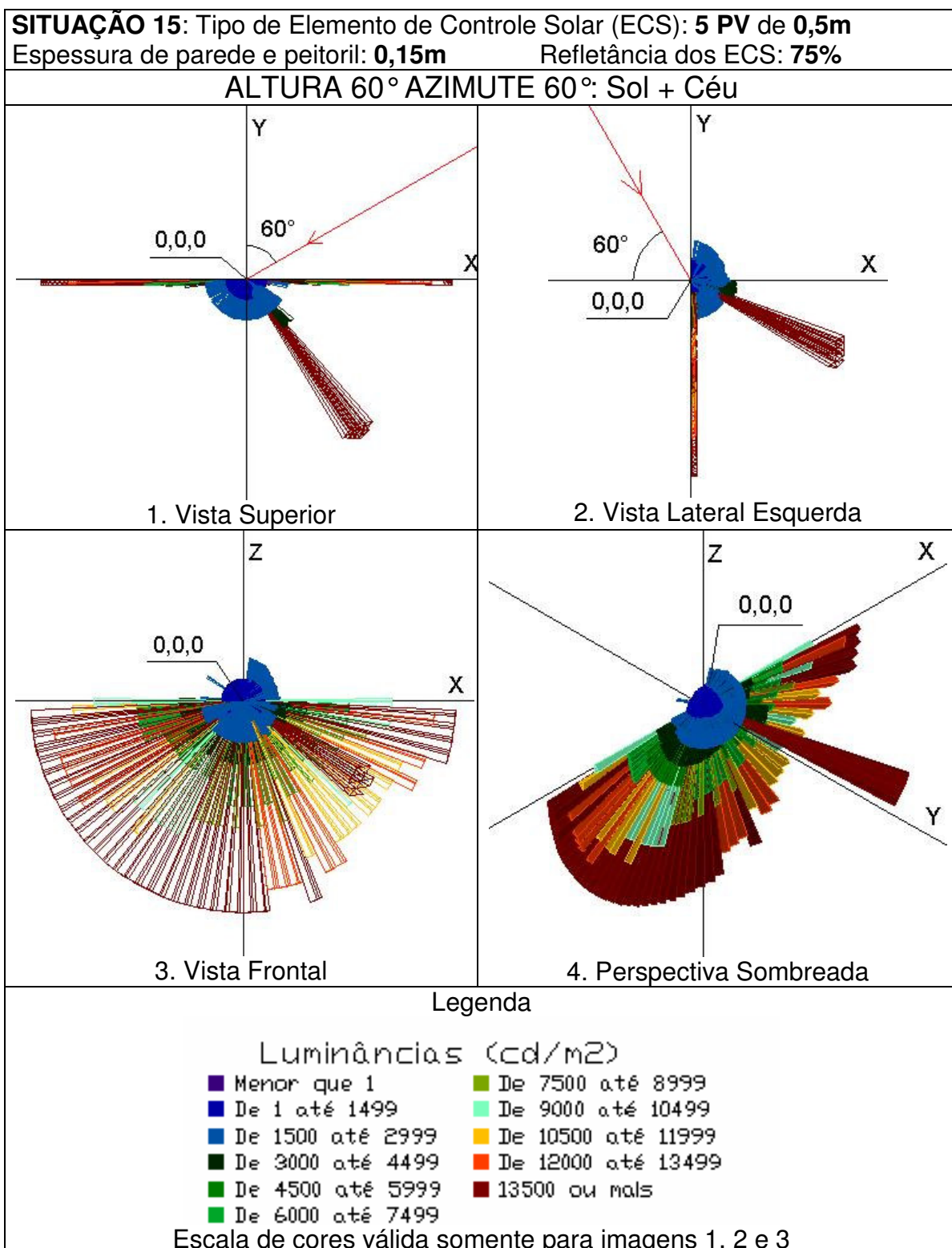


Figura 111 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 15

I - Análise dos Resultados da Situação 15:

Nesta situação, a existência de 5 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

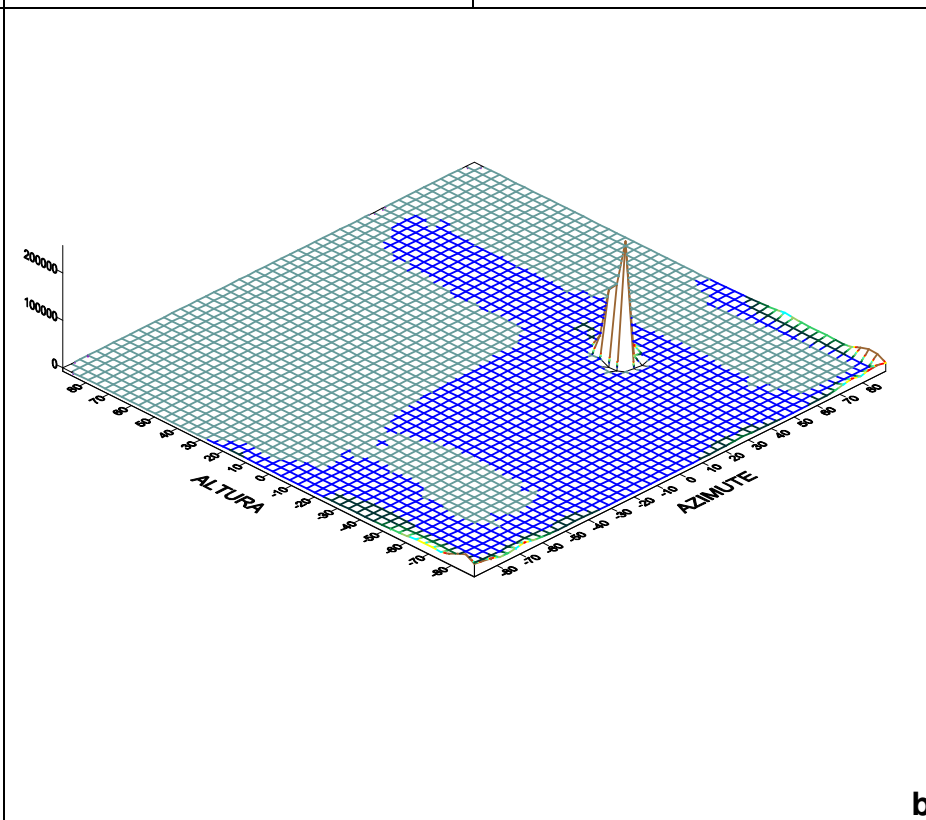
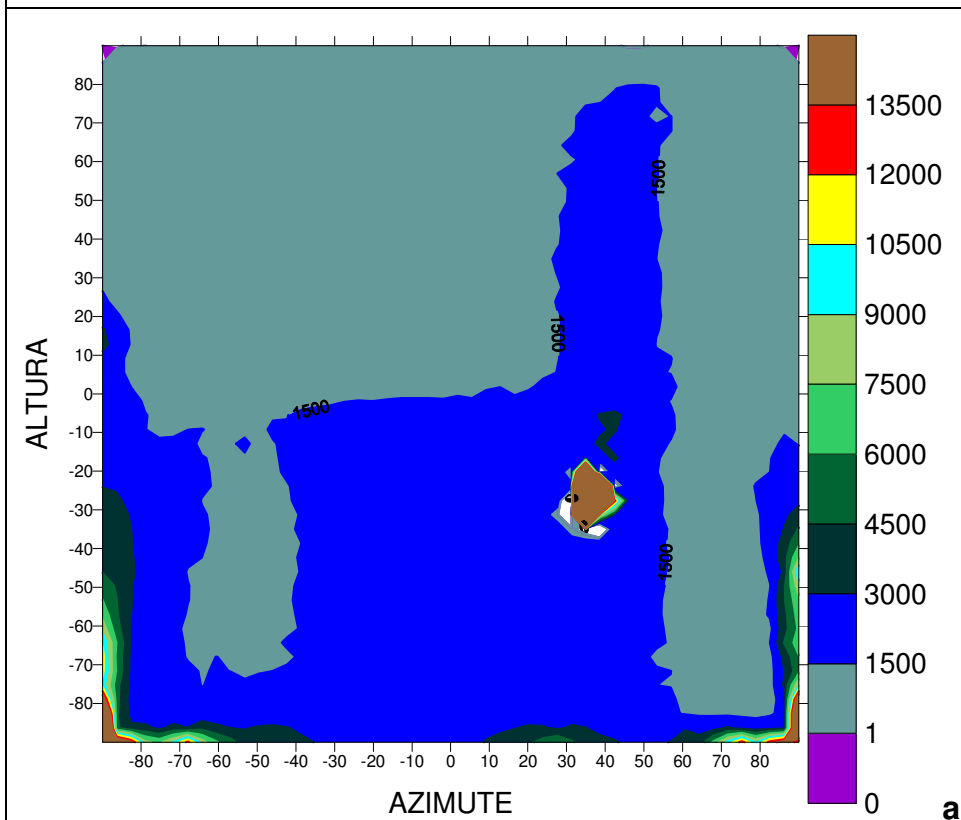
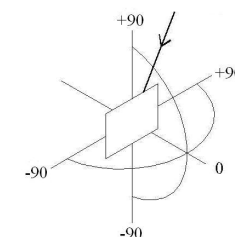
Conforme observado na vista superior, com o azimuth 60 graus existe uma distribuição dos maiores valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o mesmo lado direito da fonte de luz, com valores na faixa de 3.000 a 4.499 cd/m^2 (na cor verde-escuro) e ainda acima de 13.500 cd/m^2 (na cor marrom), referentes ao processo de inter-reflexões da luz nas placas verticais, direcionando-a para o mesmo lado da incidência da luz. A direcionalidade identificada da luz para o mesmo lado da sua incidência (azimuth 60°) e predominantemente na direção dos dois hemisférios, deve-se a luz refletida nas placas verticais, atingindo valores majoritários na faixa de 3.000 a 4.499 cd/m^2 e acima de 13.500 cd/m^2 .

Na vista lateral esquerda identificam-se os maiores valores de L_{equiv} na direção do hemisfério inferior (de 3.000 a 4.499 cd/m^2 na cor verde-escuro; e acima de 13.500 cd/m^2 na cor marrom), representativo das reflexões da luz nas placas verticais com refletância de 75%; no entanto existe um conjunto de valores de luminância equivalente da janela tanto para o hemisfério superior como inferior (desde 1 até 2.999 cd/m^2 nas cores azul-escuro e azul), referentes à reflexão da luz no peitoril. Altos valores de L_{equiv} foram identificados próximo à parte inferior da abertura e para os dois lados com valores até 30.000 cd/m^2 , representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido. Estes valores fisicamente não são adequados, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 15: 5 PV de 0,5mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

5 placas verticais sobre a janela, como brises verticais

**Gráfico 36**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m²) em imagem 3D para situação 15 com alt. 60° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 15:

No gráfico 36a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito (mesmo lado da fonte de luz de azimuth 60°) nos dois hemisférios, devido ao processo de inter-reflexões da luz nas placas verticais, mais uma concentração (pico) no lado direito do hemisfério inferior, conforme antes identificado na imagem do tipo *dxif* desta situação.

Devido à situação de 5 placas verticais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para os dois hemisférios no lado direito, devido a reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

Os maiores valores são identificados principalmente para o lado direito nos dois hemisférios, existindo uma área pontual de luminância máxima junto à altura -10° e azimuth $+40^\circ$ (na cor verde-escuro). Também existem neste lado direito valores dominantes de luminância desde a altura -90° a $+80^\circ$ nos azimuthes $+30^\circ$ a $+60^\circ$ na faixa de 1.500 a 3.000 cd/m^2 (na cor azul). Existe ainda no hemisfério inferior e no lado direito uma concentração (pico) de altos valores de luminância desde altura -20° a -35° e azimuthes $+30^\circ$ a $+45^\circ$, na faixa acima de 13.500 cd/m^2 (na cor marrom).

A direcionalidade da luz decorrente do azimuth 60° , na direção do hemisfério superior e para o mesmo lado da fonte (lado direito), deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas verticais, com valores dominantes de luminância na faixa de 1.500 a 3.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 3.000 a 13.500 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Já no gráfico 36b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se aquela concentração (pico) de altos valores de luminância na cor marrom.

Os dois gráficos 36 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dxif*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimuthes desejados.

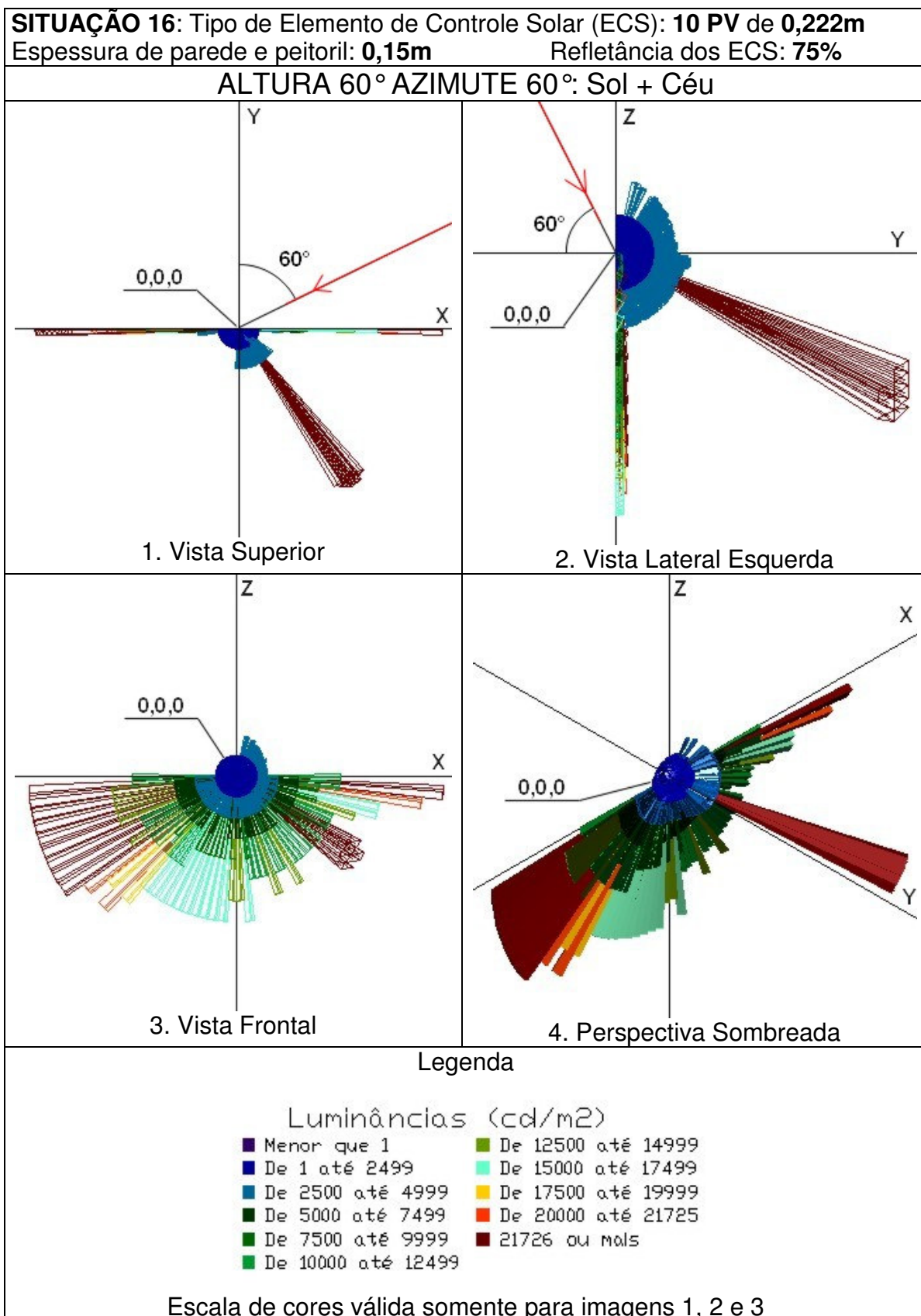


Figura 112 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 16

I - Análise dos Resultados da Situação 16:

Nesta situação, a existência de 10 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 75% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth 60 graus existe uma distribuição dominante de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na faixa de 2.500 à 4.999 cd/m^2 (na cor azul), e acima de 21.726 cd/m^2 (na cor marrom), referentes à reflexão da luz nas placas verticais direcionada para o lado oposto ao da incidência da luz. A direcionalidade identificada da luz para o mesmo lado da incidência da sua fonte (azimuth 60°) e predominantemente na direção dos dois hemisférios, deve-se a luz refletida nas placas verticais, atingindo valores majoritários até 4.999 cd/m^2 .

Na vista lateral esquerda identificam-se os valores máximos de L equiv na direção do hemisfério inferior, acima de 21.726 cd/m^2 (na cor marrom), representativo da reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%. O efeito da reflexão da luz no peitoril aparece na cor azul escuro, com valores na faixa de 1 a 2.499 cd/m^2 . Altos valores de L equiv foram identificados próximo a parte inferior da abertura com valores até 30.000 cd/m^2 e de 25.000 cd/m^2 para o lado direito e até 30.000 cd/m^2 para o lado esquerdo, representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido. Estes valores fisicamente não são adequados, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

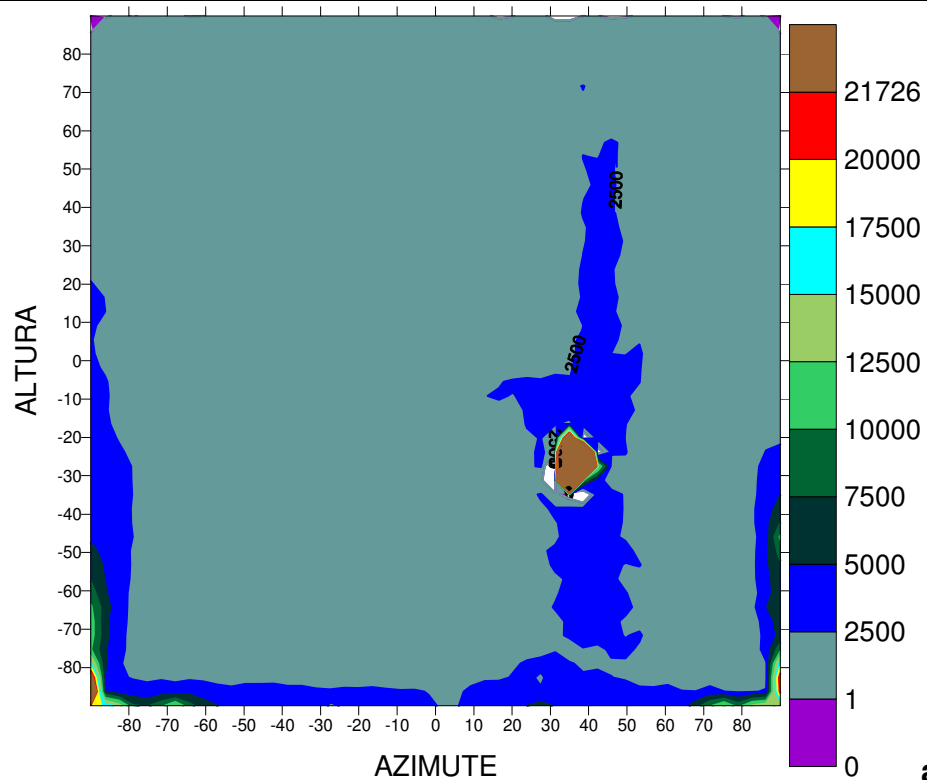
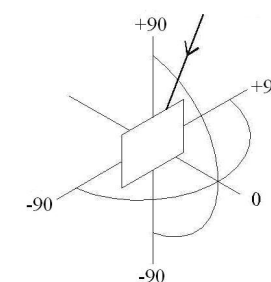
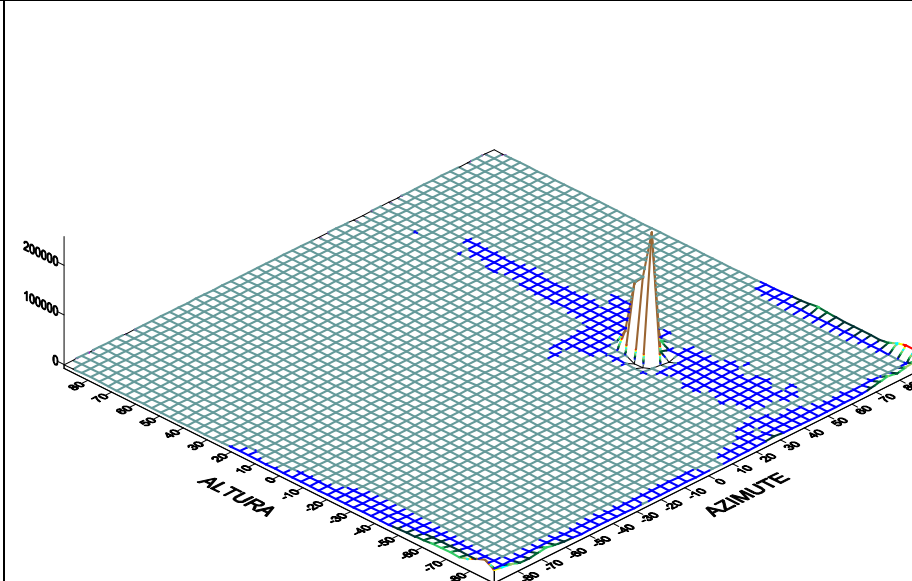
Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz pode ser melhor observada.

Na comparação desta situação 16 com a similar 14, o tipo de elemento de controle solar 10 PV com 0,25 m de profundidade, possibilitou um menor processo de inter-reflexões. Na situação 14, a luminância equivalente da janela está mais bem distribuída, com maioria dos valores na faixa de 6.000 a 8.999 cd/m^2 e máximo acima de 14.617 cd/m^2 , em comparação à situação 16 com valores na sua maioria de 2.500 a 4.999 cd/m^2 e máximo acima de 21.726 cd/m^2 .

A luminância equivalente da janela é apresentada a seguir de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ).

SITUAÇÃO 16: 10 PV de 0,222mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**a****b****Gráfico 37** – Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 16 com alt. 60° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 16:

No gráfico 37a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito (mesmo lado da fonte de luz no azimuth 60°), nos dois hemisférios, devido ao processo de inter-reflexões da luz nas 10 placas verticais, mais uma concentração (pico) no lado direito do hemisfério inferior, numa representação similar aquela identificada na situação anterior 14 com 10 placas verticais.

Devido à situação de 10 placas verticais sobre a abertura, existe um bloqueio total da luz solar direta incidente, sendo as luminâncias resultantes devido a luz refletida e a luz difusa, com tendência dominante para os dois hemisférios no lado direito, devido a reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 75%.

Os maiores valores são identificados para o lado direito principalmente desde a altura $+55^\circ$ a -75° no azimuth $+30^\circ$ a $+50^\circ$, na faixa de 2.500 a 5.000 cd/m^2 (na cor azul), mais uma concentração (pico) de altos valores de luminância no lado direito e no hemisfério inferior desde altura -20° a -35° e azimuth $+30^\circ$ a $+45^\circ$, na faixa acima de 21.726 cd/m^2 (na cor marrom), representações estas similares aquelas identificadas na situação anterior de 5 placas verticais.

A direcionalidade da luz decorrente do azimuth 60° , na direção do hemisfério superior e para o mesmo lado da fonte (lado direito), deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas verticais, com os maiores valores de luminância na faixa de 2.500 a 5.000 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 2.500 a 21.726 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

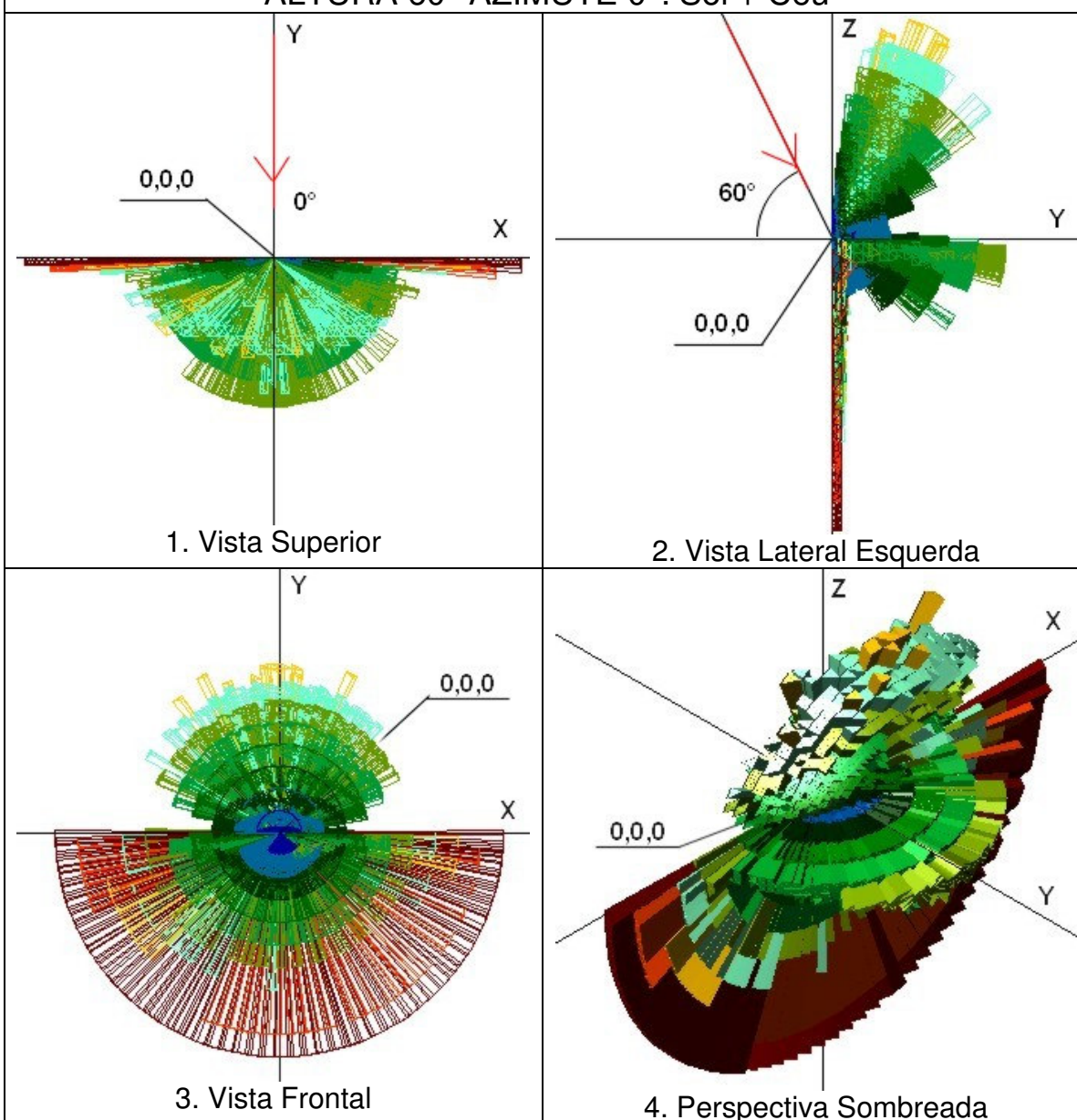
Já no gráfico 37b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se aquela concentração (pico) de altos valores de luminância na cor marrom.

Os dois gráficos 37 **a** e **b** representam a distribuição espacial da luminância equivalente da janela possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes

desejados.

SITUAÇÃO 17: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 2500 até 2999
■ De 1 até 499	■ De 3000 até 3499
■ De 500 até 999	■ De 3500 até 3999
■ De 1000 até 1499	■ De 4000 até 5692
■ De 1500 até 1999	■ 5693 ou mais
■ De 2000 até 2499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 113 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 17

I - Análise dos Resultados da Situação 17:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol perpendiculares à abertura, sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 20% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth zero existe uma distribuição simétrica dos valores de luminância equivalente da janela (L_{equiv}) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para os lados direito e esquerdo, com valores máximos até 3.999 cd/m^2 (na cor amarela). Altos valores de L_{equiv} foram identificados para os dois lados da abertura, representativos do efeito cosseno, até 24.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e 27.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identificam-se os valores dominantes de L_{equiv} na parte superior do hemisfério, representativo da reflexão da luz nas 10 placas horizontais com refletância de 20%, em valores de até 3.999 cd/m^2 (na cor amarela); para o hemisfério inferior os valores devido à esta reflexão são de até 2.999 cd/m^2 (na cor verde claro). Foram identificados ainda valores de L_{equiv} na direção da parte inferior da abertura, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, com valores até 24.000 cd/m^2 na direção inferior. Estes valores fisicamente não são adequados, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

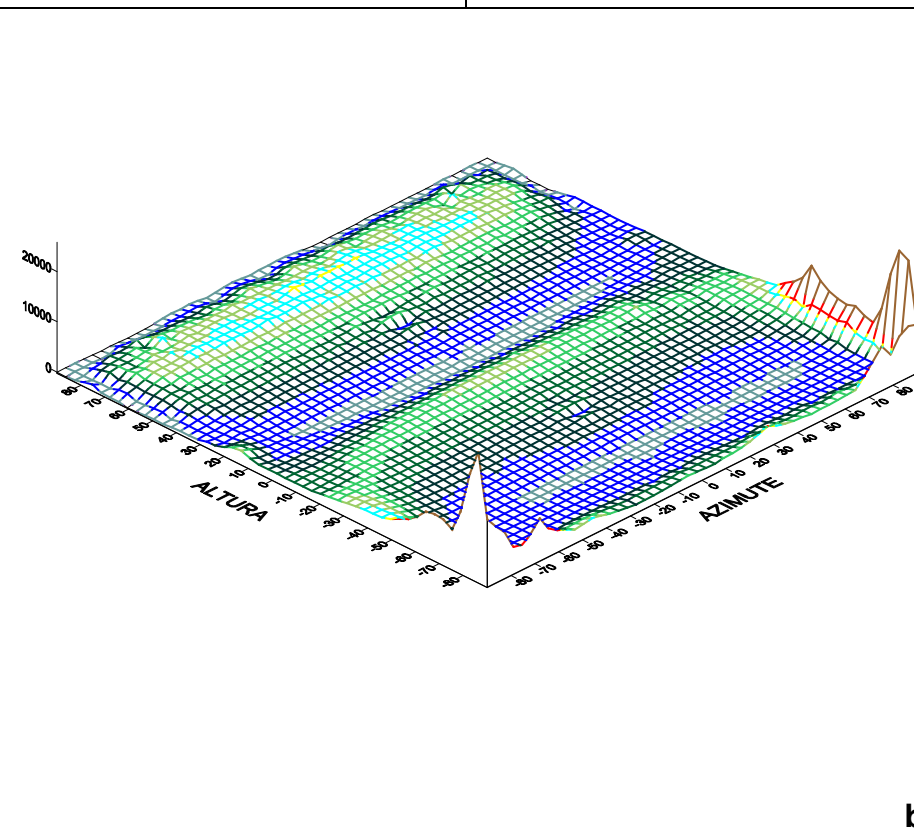
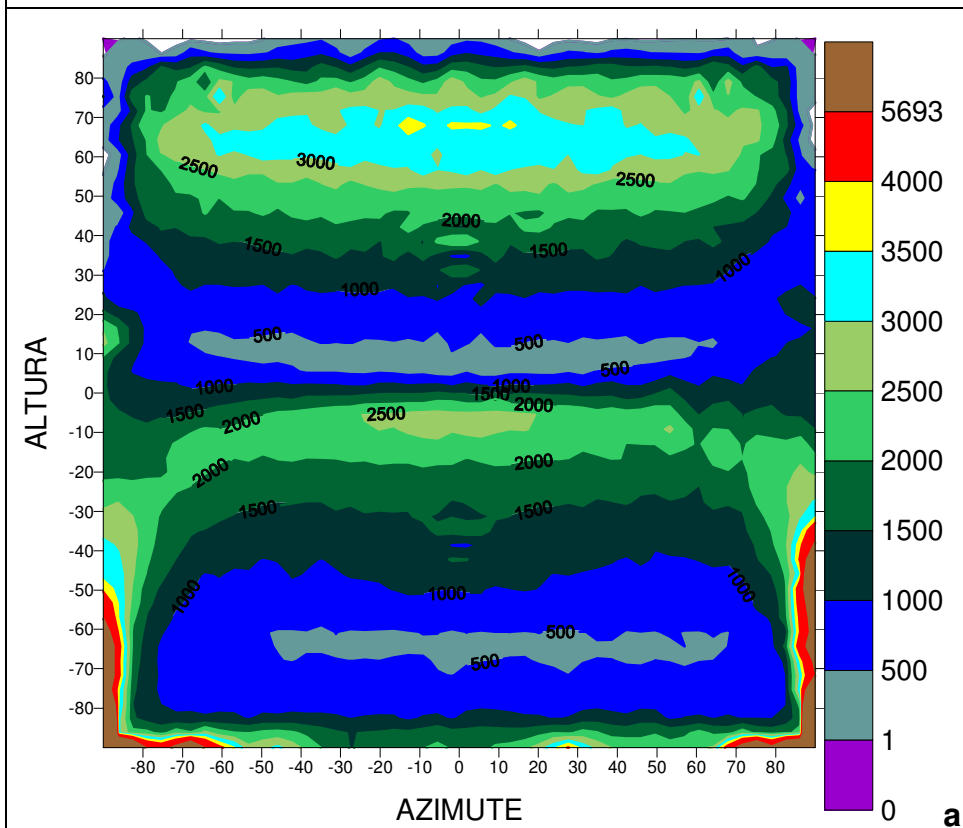
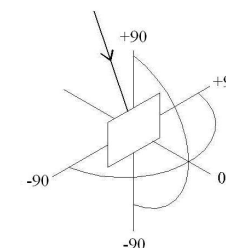
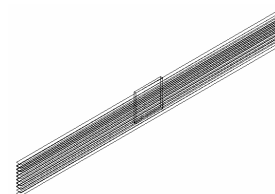
Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido a luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as luminâncias devido ao efeito cosseno na direção do hemisfério inferior e para os dois lados.

Na comparação desta situação 17 de 10 PH (refletância de 20%) com a similar situação 10 de 10 PH (refletância 75%), os valores de luminância equivalente da janela sofreram uma redução, sendo máximos até 3.999 cd/m^2 na situação 17, e até 14.999 cd/m^2 na situação 10.

Na página seguinte, a luminância equivalente da janela é representada segundo as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano XZ da abertura.

SITUAÇÃO 17: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%****ALTURA 60° AZIMUTE 0°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 38** – Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 17 com altura 60° e azimuth 0°

II- Análise dos Resultados da situação 17:

No gráfico 38a anterior identifica-se a simetria dos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para os lados direito e esquerdo (azimutes positivos e negativos) devido ao azimute 0° da fonte de luz, com maior distribuição para os hemisférios superior e inferior quando comparado com a situação 10 similar (com 75% de refletância das placas). Logo, nesta situação com menor refletância (20%) das placas horizontais, houve uma maior distribuição de luminâncias, sendo no entanto, mantidos os maiores valores para o hemisfério superior devido à reflexão da luz nas placas horizontais.

A distribuição espacial dos maiores valores de luminâncias nesta situação com 20% de refletância das placas manteve-se para o hemisfério superior como na situação 10 similar (com 75% de refletância), numa redução significativa de valores, com máximos principalmente na faixa de 3.000 a 4.000 cd/m^2 para o hemisfério superior (na cor azul claro), quando comparado aos máximos de 12.500 a 15.000 cd/m^2 identificado na situação 10 com maior refletância.

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 0° e na direção do hemisfério superior, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais, com os maiores valores de luminância principalmente na faixa de 3.000 a 3.500 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 2.500 a 5.693 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Os dois gráficos 38 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dxg*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 18: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu

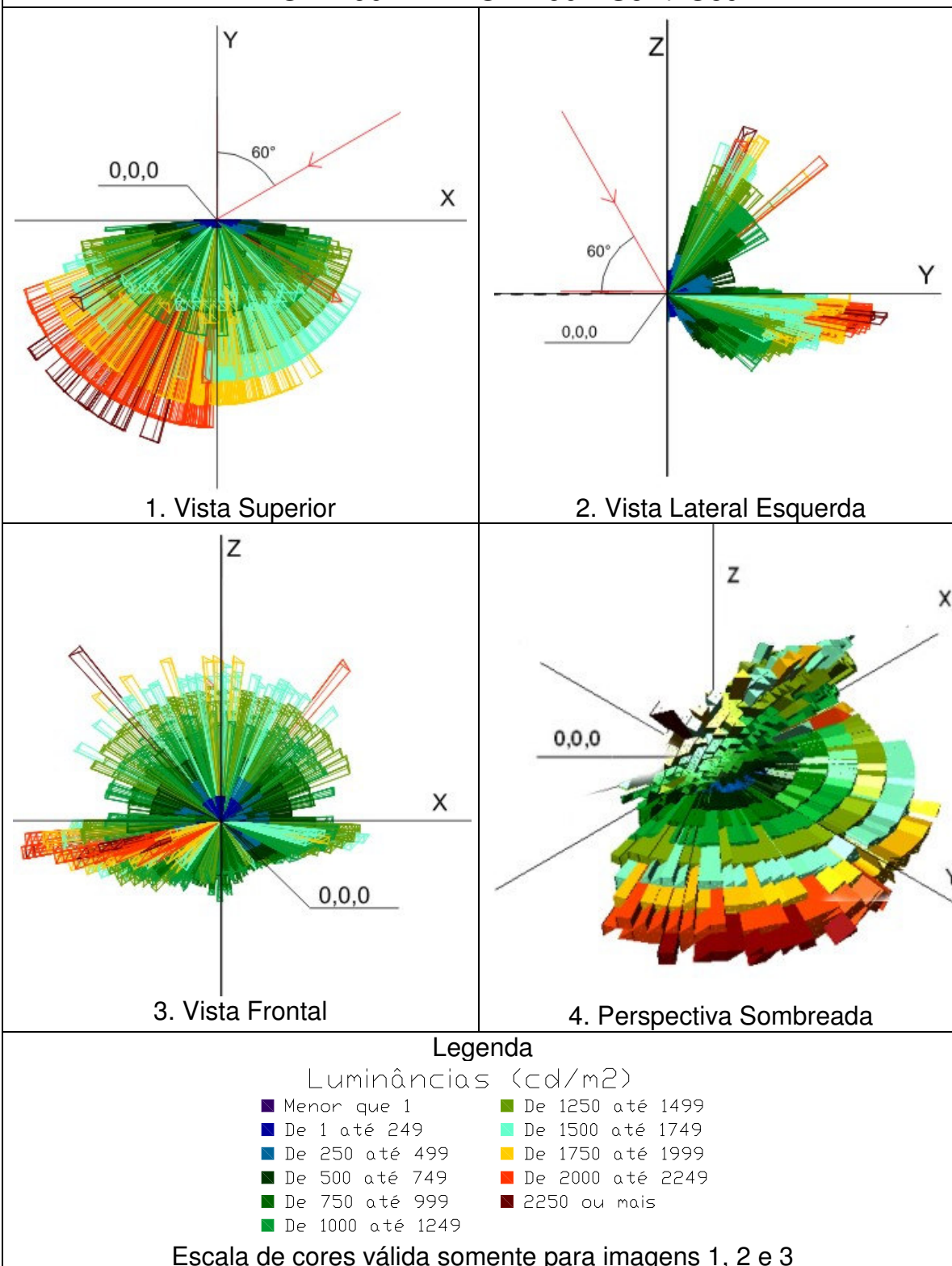


Figura 114 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 18

I - Análise dos Resultados da Situação 18:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 20% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circunsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimute de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimute 60 graus existe uma distribuição dominante dos valores de luminância equivalente da janela a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito oposto ao da incidência de luz, principalmente na faixa de 2.000 a 2.249 cd/m^2 (na cor vermelha). Valores muito reduzidos de L equiv, representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, foram identificados para os dois lados da abertura, em até 250 cd/m^2 , conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais, com valores dominantes até 1.749 cd/m^2 (na cor azul) na direção do hemisfério superior, e até 2.249 cd/m^2 (na cor vermelha) para o hemisfério inferior. Os reduzidos valores devido ao efeito cosseno estão bem representados, numa aplicação adequada do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

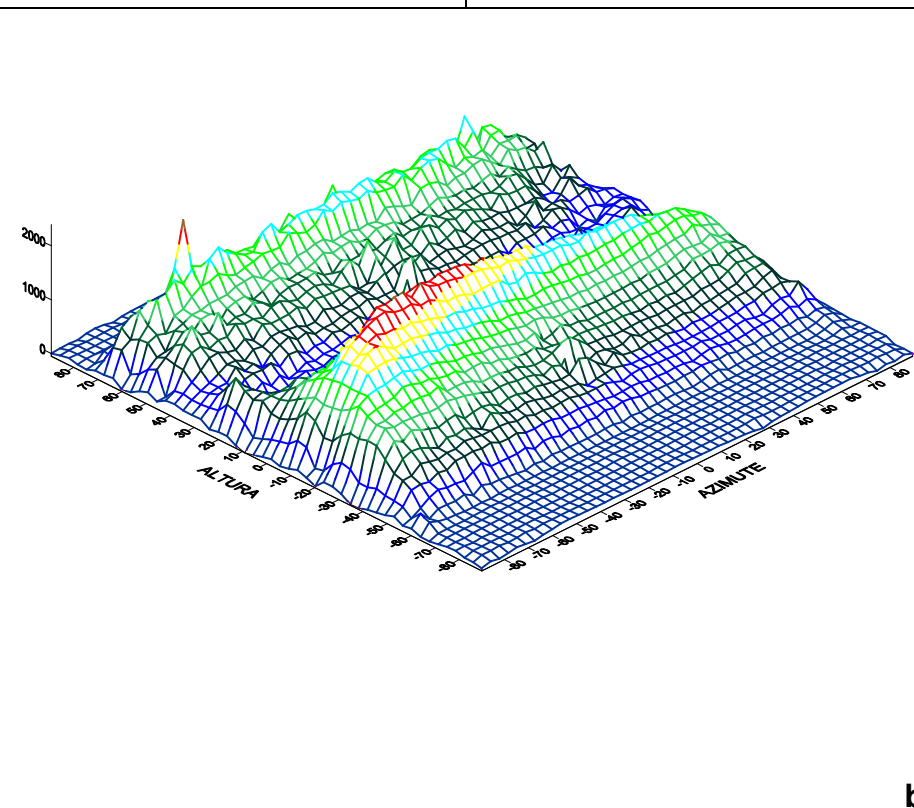
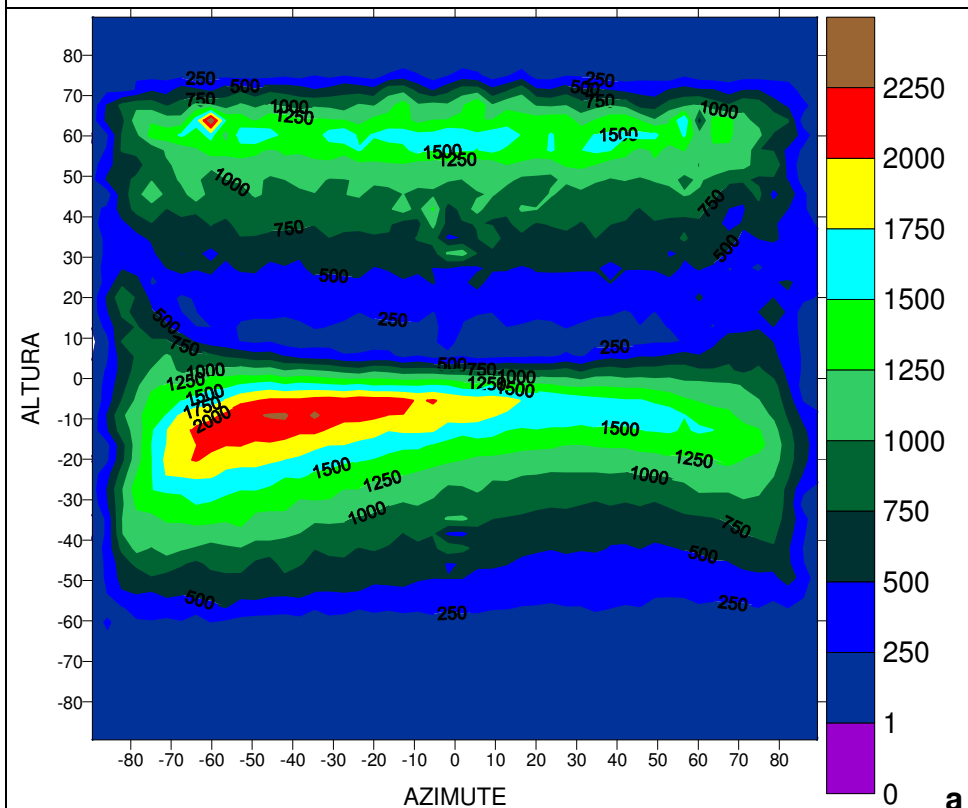
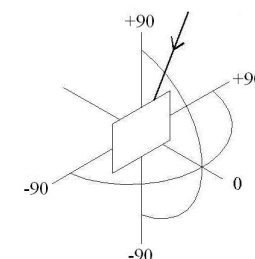
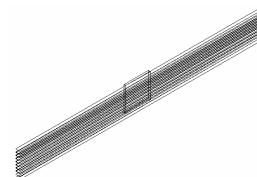
Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz pode ser melhor observada, com a direcionalidade predominante da luz para o lado esquerdo oposto ao da fonte de luz e para a direção superior de vido a reflexão nas placas horizontais.

Na comparação desta situação 18 de 10 PH (refletância de 20%) com a situação 11 análoga de 10 PH (refletância 75%), os valores de luminância equivalente da janela sofreram uma redução, sendo os dominantes máximos acima de 2.249 cd/m^2 na situação 18, e 6.999 cd/m^2 na situação 11.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimute e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 18: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 39**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 18 com alt. 60° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 18:

No gráfico 39a anterior identifica-se a existência dos maiores valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado esquerdo junto ao hemisfério inferior devido ao azimute 60° da fonte de luz, assim como também valores médios para o hemisfério superior devido à luz refletida nas placas horizontais.

A distribuição espacial dos maiores valores de luminâncias nesta situação com 20% de refletância das placas foi identificada para o hemisfério inferior no lado esquerdo, com valores máximos principalmente na faixa de 2.000 a 2.250 cd/m^2 (na cor vermelha). Outra parte de médios valores foi identificada para o hemisfério superior (na cor azul-clara) como na situação 11 similar (com 75% de refletância), numa redução significativa de valores com máximos na faixa de 1.500 a 1.750 cd/m^2 quando comparado aos máximos de 6.000 a 7.000 cd/m^2 identificado na situação 11 com maior refletância, mas seguindo uma mesma seqüência de distribuição espacial.

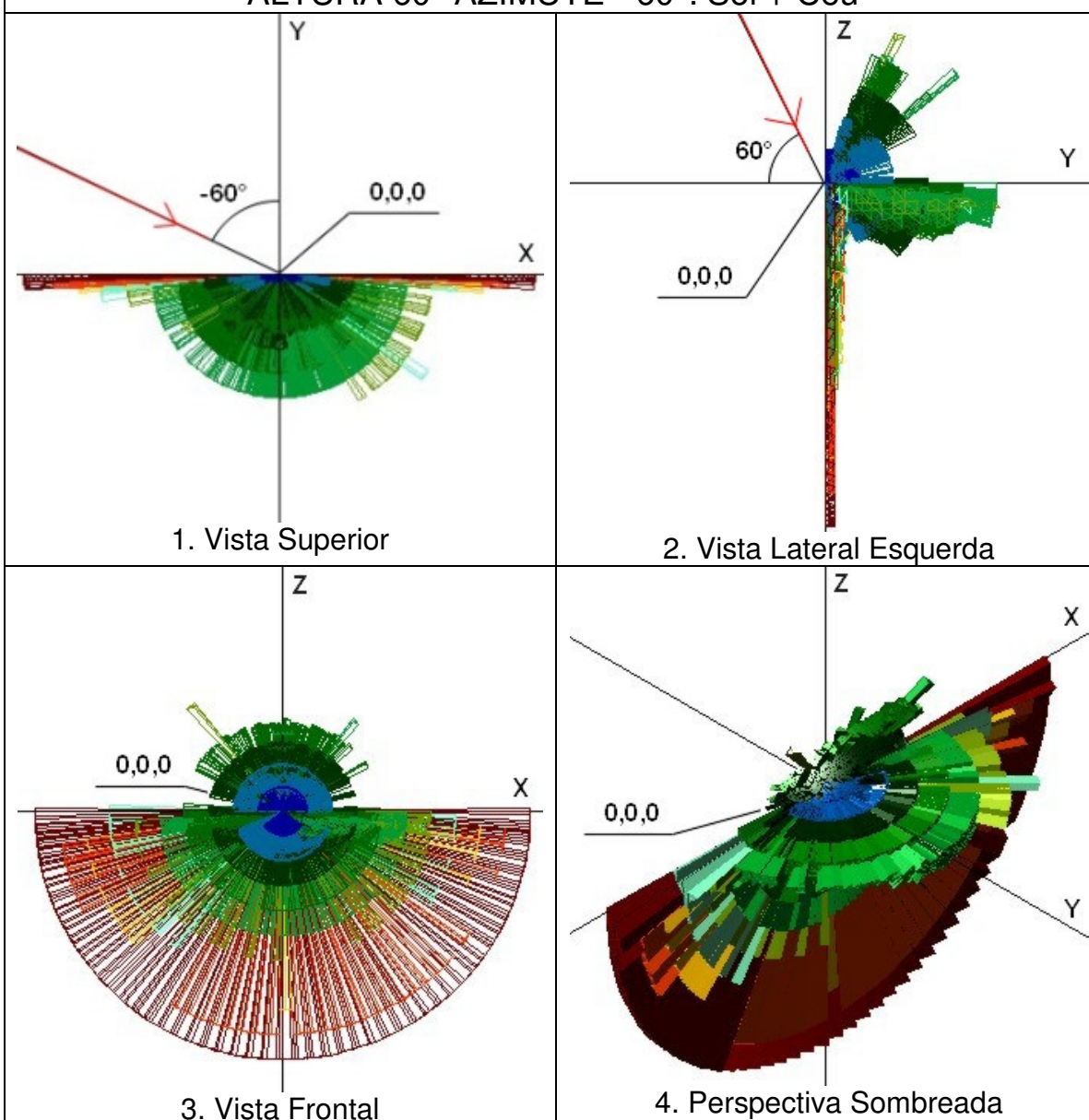
A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° , na direção do lado esquerdo e na parte inferior, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais. Os maiores valores de luminância não foram identificados na direção superior, mas sim junto ao lado esquerdo e na parte inferior, decorrente da maior reflexão da luz nesta área em função do azimute 60° da sua fonte.

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado claramente como na imagem do tipo *dx**f* anterior.

Os dois gráficos 39 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dx**f*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

SITUAÇÃO 19: Tipo de Elemento de Controle Solar (ECS): **10 PH** de **0,115m**
 Espessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%**

ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu



Legenda

Luminâncias (cd/m²)

■ Menor que 1	■ De 2500 até 2999
■ De 1 até 499	■ De 3000 até 3499
■ De 500 até 999	■ De 3500 até 3999
■ De 1000 até 1499	■ De 4000 até 5473
■ De 1500 até 1999	■ 5474 ou mais
■ De 2000 até 2499	

Escala de cores válida somente para imagens 1, 2 e 3

Figura 115 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 19

I - Análise dos Resultados da Situação 19:

Nesta situação, a existência de 10 placas horizontais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado esquerdo), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas horizontais com refletância de 20% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth -60 graus existe uma distribuição dos valores de luminância equivalente da janela a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para vários lados devido à admissão de luz refletida nas placas horizontais e espessura de parede, com maior valor na faixa de 2.000 cd/m² (na cor verde-claro) a 3.499 cd/m² (na cor azul-claro) para o lado direito, na direção da incidência de luz. Altos valores de L equiv foram identificados para os dois lados da abertura, representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, até 28.000 cd/m² para o lado esquerdo e até 24.000 cd/m² para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identifica-se o efeito da luz natural admitida por reflexão nas 10 placas horizontais, direcionada para o hemisfério superior com valores na faixa de 2.500 a 2.999 cd/m² (na cor verde claro), e direcionada para o hemisfério inferior na faixa de 2.000 a 2.499 cd/m² (na cor verde). Altos valores de L equiv foram identificados próximo a parte inferior da abertura com valores até 28.000 cd/m², representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

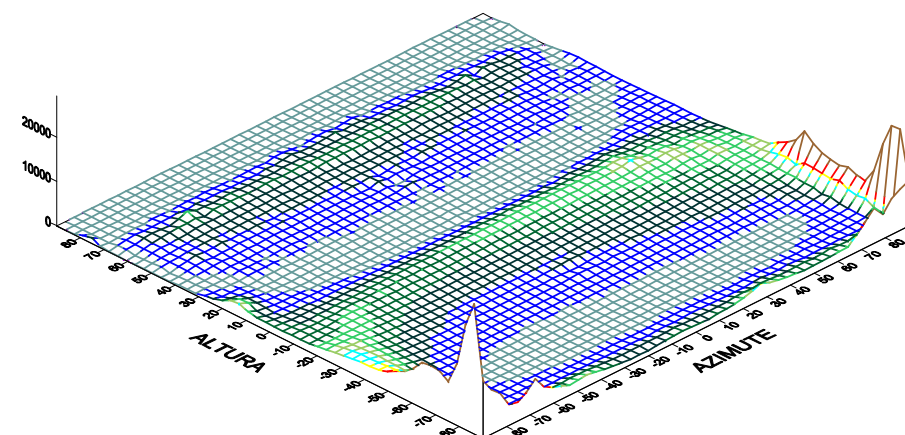
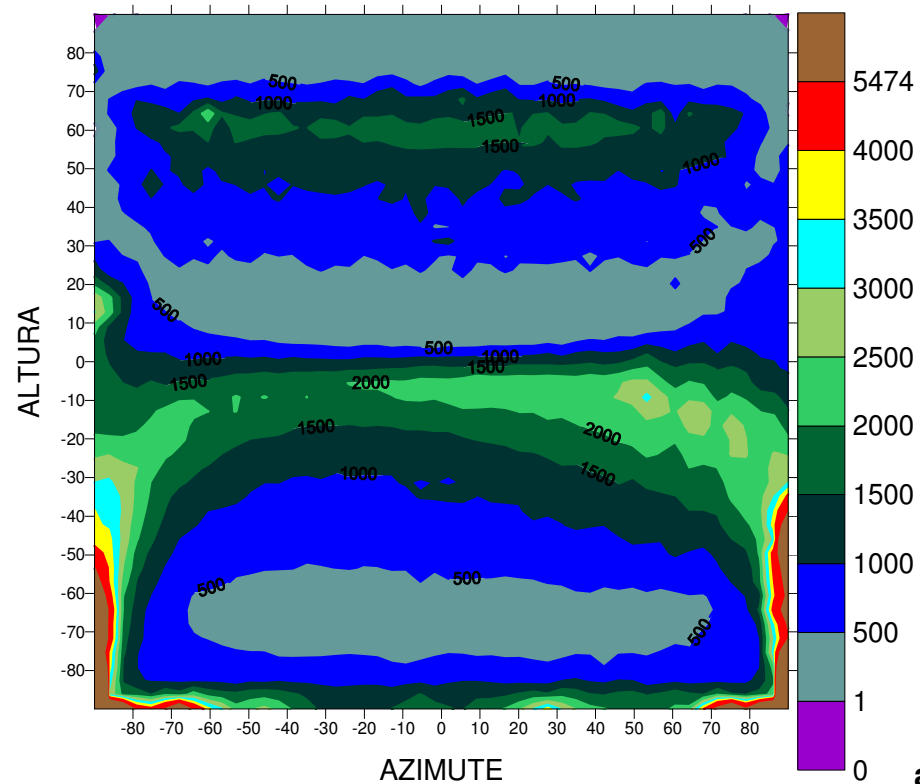
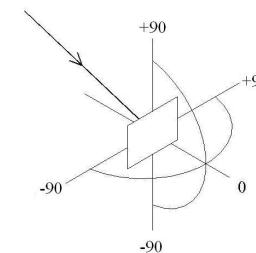
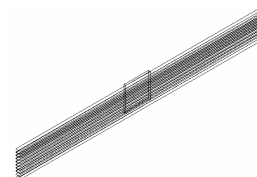
Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz pode ser melhor observada.

Na comparação desta situação 19 de 10 PH (refletância de 20%) com a similar situação 12 de 10 PH (refletância 75%), os valores de luminância equivalente da janela sofreram uma redução, sendo os máximos na faixa de 7.500 a 9.999 cd/m² na situação 12, e na faixa de 2.500 a 2.999 cd/m² na situação 19.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada de acordo com as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano da abertura (plano XZ), de acordo com a escala de cores anexa aos gráficos.

SITUAÇÃO 19: 10 PH de 0,115mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **20%****ALTURA 60° AZIMUTE - 60°: Sol + Céu**

10 placas horizontais sobre a janela como brises horizontais

**Gráfico 40**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m^2) em imagem 3D para situação 19 com alt. 60° e az. -60°

II - Análise dos Resultados da Situação 19:

No gráfico 40a anterior identifica-se a dominância dos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito no hemisfério inferior devido ao azimute -60° da fonte de luz, com maior distribuição para os hemisférios superior e inferior quando comparado com a situação 12 similar (com 75% de refletância das placas). Logo, nesta situação com menor refletância (20%) das placas horizontais, houve uma maior distribuição da luminância equivalente da janela.

A distribuição espacial dos valores de luminâncias nesta situação com 20% de refletância das placas manteve-se para o hemisfério superior como na situação 12 similar (com 75% de refletância), numa redução significativa de valores na faixa de 1.500 a 2.000 cd/m^2 quando comparado aos valores de 5.000 a 7.500 cd/m^2 identificado na situação 12 com maior refletância. No entanto, com esta menor refletância das placas e neste azimute -60° da fonte de luz, os valores máximos desta situação 19 foram identificados para o lado direito do hemisfério inferior, principalmente na faixa de 2.500 a 3.000 cd/m^2 (na cor verde-claro), seguindo uma sequência nesta direção desde 1.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro).

A direcionalidade da luz decorrente do azimute -60° , na direção do hemisfério superior e em parte para o lado direito, deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas horizontais. Os maiores valores de luminância não foram identificados na direção superior, mas sim junto ao lado direito e na parte inferior, decorrente da maior reflexão da luz nesta área em função do azimute -60° da sua fonte.

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 2.500 a 5.474 cd/m^2 na parte inferior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Os dois gráficos 40 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dxif*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

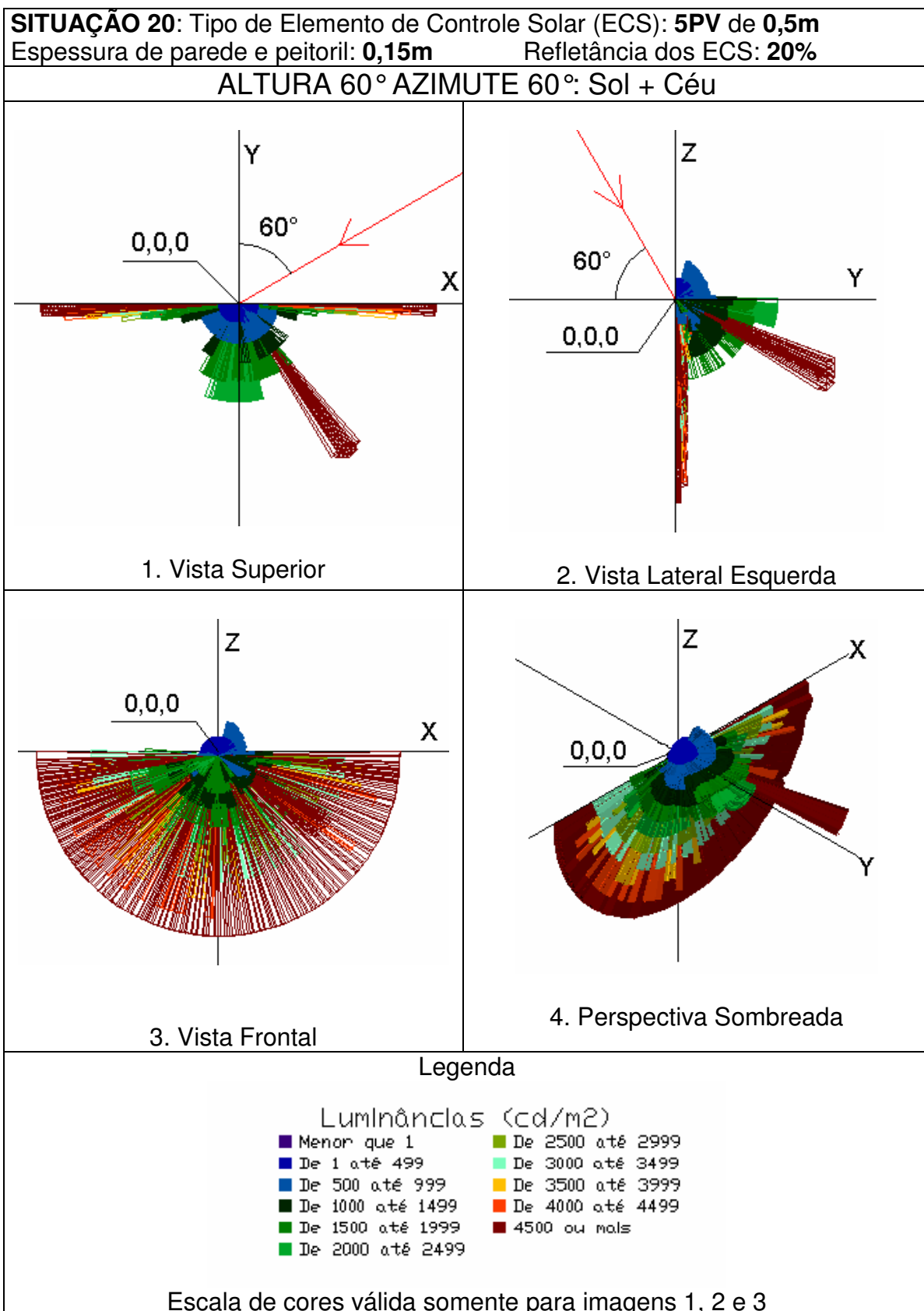


Figura 116 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 20

I - Análise dos Resultados da Situação 20:

Nesta situação, a existência de 5 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 20% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, com o azimuth 60 graus existe uma distribuição dos maiores valores de luminância equivalente da janela a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o mesmo lado direito da fonte de luz, com valores acima de 4.500 cd/m^2 (na cor marrom), referente ao processo de inter-reflexões da luz nas placas verticais, re-direcionando a maior parte da luz para o mesmo lado da incidência de sua fonte. Existe também um conjunto de valores na direção do azimuth 0° , seguindo uma tendência desde 1.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro) a 2.499 cd/m^2 (na cor verde-claro).

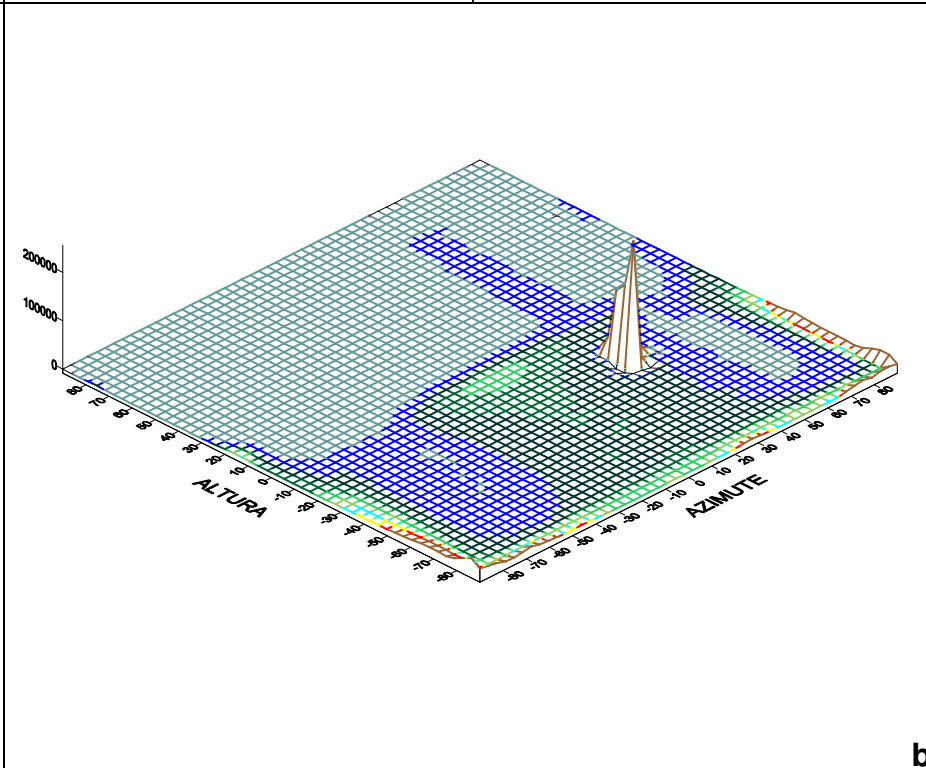
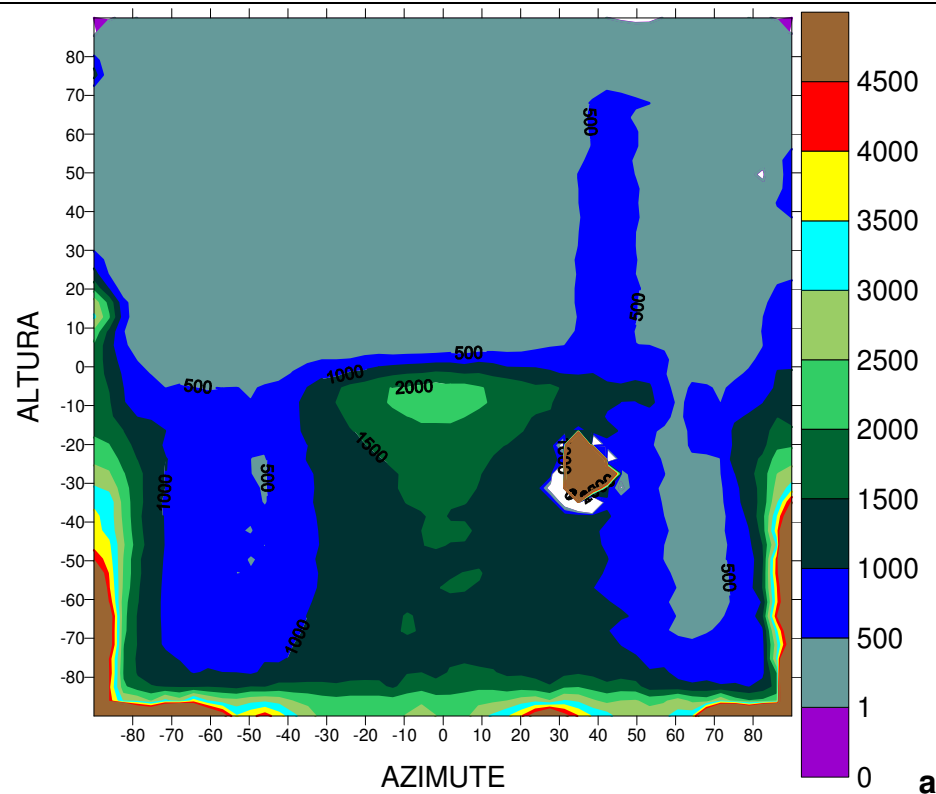
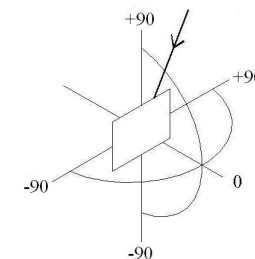
Na vista lateral esquerda identificam-se os valores dominantes de luminância equivalente da janela na direção do hemisfério inferior, principalmente de 1.000 cd/m^2 (na cor verde-escuro) a 2.499 cd/m^2 (na cor verde), representativos da reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 20%. A maior faixa de valores de luminância também está identificada para o hemisfério inferior, na cor marrom (valores acima de 4.500 cd/m^2). O efeito da reflexão da luz no peitoril aparece nas cores azul-escuro e azul, com valores desde 1 a 999 cd/m^2 . Altos valores de L equiv foram identificados para os dois lados da abertura e na direção inferior representativos do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz devido à luminância equivalente da janela pode ser melhor observada, desde o centro da janela (ponto 0,0,0), como as maiores luminâncias na direção do hemisfério inferior para o lado esquerdo.

Na comparação desta situação 20 de 5 PV (refletância de 20%) com a similar situação 15 de 5 PV (refletância 75%), existe uma distribuição espacial similar da luminância equivalente da janela. Os máximos identificados na direção do lado esquerdo para o hemisfério inferior reduziram-se para valores acima de 4.500 cd/m^2 , quando comparado com os máximos acima de 13.500 cd/m^2 da situação 15.

SITUAÇÃO 20: 5 PV de 0,5mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: **75%****ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

5 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**Gráfico 41**– Luminância equivalente da janela (Lequiv - cd/m²) em imagem 3D para situação 20 com alt. 60° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 20:

No gráfico 41a anterior identifica-se um conjunto de valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para o lado direito (mesmo lado da fonte de luz de azimute 60°) nos dois hemisférios devido ao azimute 60° da fonte de luz, mais uma concentração (pico) no lado direito do hemisfério inferior. Existe também uma maior distribuição da luminância equivalente da janela para os hemisférios superior e inferior quando comparado com a situação 15 similar (com 75% de refletância das placas).

A distribuição espacial dos valores de luminâncias nesta situação com 20% de refletância das placas manteve-se para o lado direito como na situação 15 similar (com 75% de refletância), numa redução significativa de valores na faixa de 500 a 750 cd/m^2 quando comparado aos valores de 1.500 a 3.000 cd/m^2 identificado na situação 15 com maior refletância.

No entanto, com esta menor refletância das placas e neste azimute 60° da fonte de luz, os valores máximos desta situação 20 foram identificados na altura -5° a -15° e azimute -15° a $+15^\circ$ (para o hemisfério inferior), na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 (na cor verde), seguindo uma tendência nesta direção desde 1.500 cd/m^2 (na cor verde-forte), diferente da direção da fonte de luz com azimute 60° .

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° , na direção superior e inferior para o mesmo lado da fonte (lado direito), deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas verticais. Os maiores valores de luminância no entanto foram identificados junto ao azimute 0° e altura -10° , na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 1.000 a 4.500 cd/m^2 na parte inferior e em menor presença na superior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Já no gráfico 41b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se aquela concentração (pico) de altos valores de luminância na cor marrom.

Os dois gráficos 41 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dxg*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

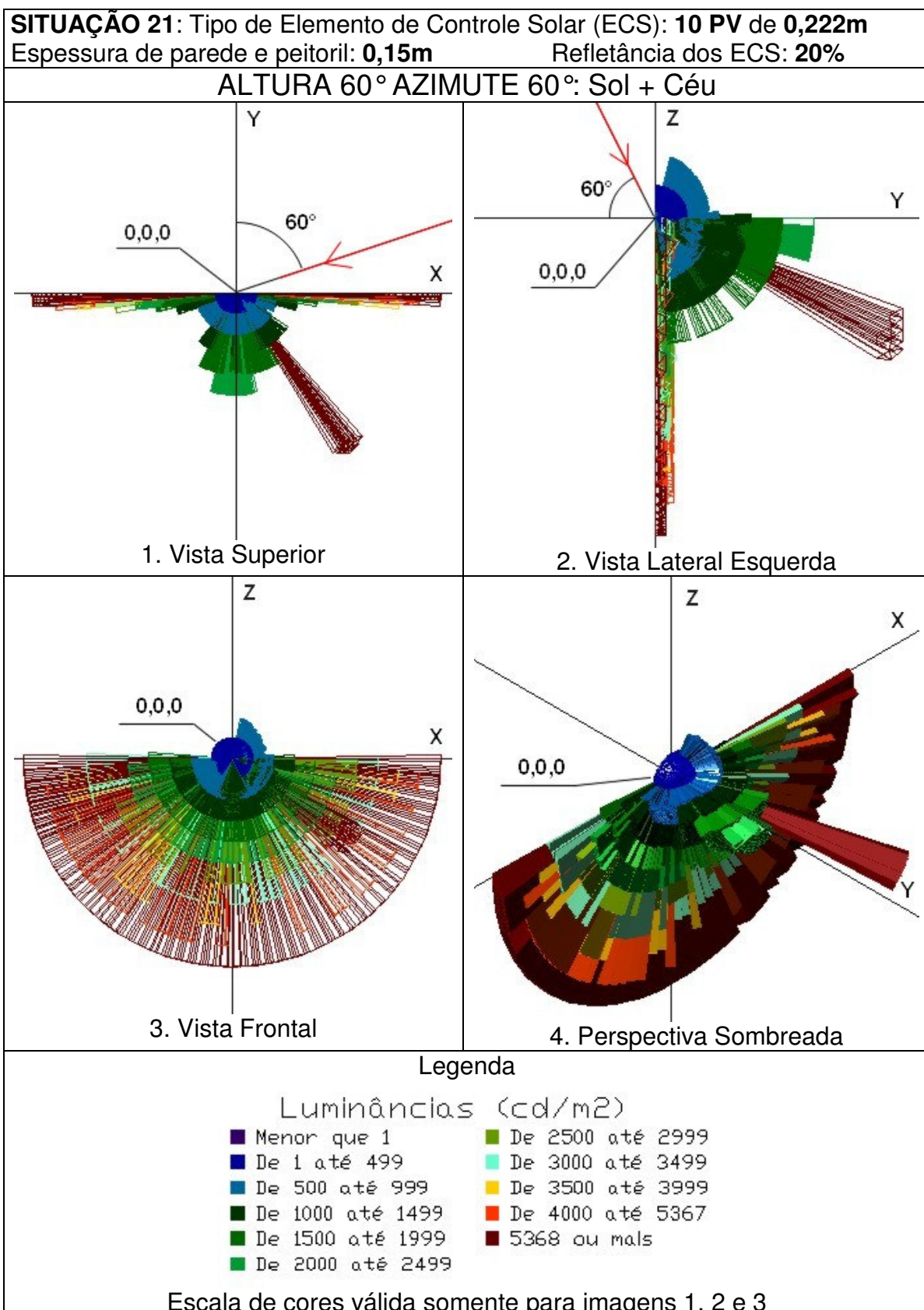


Figura 117 – Resultados de luminância equivalente da janela - situação 21

I - Análise dos Resultados da Situação 21:

Nesta situação, a existência de 10 placas verticais sobre a abertura bloqueia totalmente a entrada dos raios diretos do Sol oblíquos à abertura (vindos do lado direito), sendo a luz admitida proveniente da luz refletida nas placas verticais com refletância de 20% e da luz difusa do céu, este com maior luminância junto à posição circumsolar, ou seja, de acordo com a altura e azimuth de estudo.

Conforme observado na vista superior, devido ao azimuth 60 graus existe uma distribuição dominante de luminância equivalente da janela (L equiv) a partir do centro da abertura (ponto 0,0,0) para o lado direito, com valores na faixa acima de 5.368 cd/m^2 (na cor marrom), referente à reflexão da luz nas placas verticais direcionada para o lado oposto ao da incidência da luz. Altos valores de L equiv foram identificados para os dois lados da abertura, representativo do efeito cosseno do ângulo formado entre a direção perpendicular da abertura e o raio de luz emitido, em até 32.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e até 24.000 cd/m^2 para o lado direito, conforme identificado em análise específica sobre o efeito cosseno.

Na vista lateral esquerda identificam-se valores máximos de L equiv na direção do hemisfério inferior acima de 5.368 cd/m^2 (cor marrom), representativo da reflexão da luz nas placas verticais com refletância de 20%. O efeito da reflexão da luz no peitoril aparece na cor azul escuro, com valores na faixa de 1 à 999 cd/m^2 (nas cores azul escuro e azul). Altos valores de L equiv foram identificados próximo a parte inferior da abertura com valores até 32.000 cd/m^2 para o lado esquerdo e até 24.000 cd/m^2 para o lado direito, representativos do efeito cosseno devido ao alto ângulo da luz admitida desde o centro da abertura; no entanto, a magnitude destes valores fisicamente não está bem representada, sendo uma limitação do conceito da luminância equivalente da janela e sua aplicação pelo Programa APOLUX.

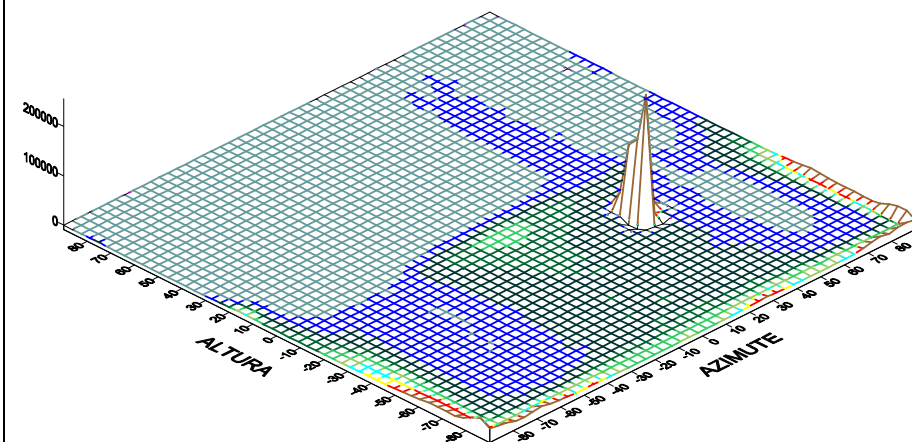
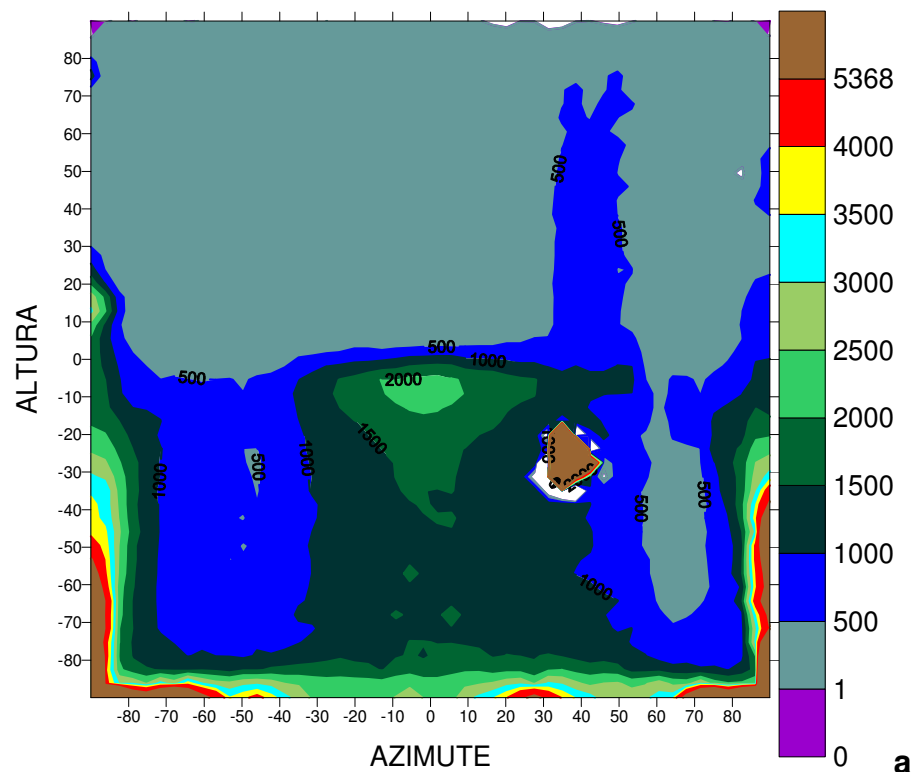
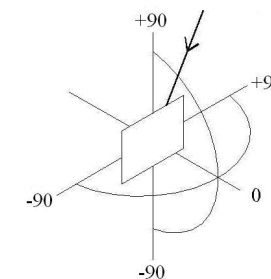
Na vista frontal e perspectiva no modo sombreado do CAD, a distribuição espacial da luz, como as luminâncias devido ao efeito cosseno para os dois lados na direção do hemisfério inferior.

Na comparação desta situação 21 de 10 PV (refletância de 20%) com a similar situação 16 de 10 PV (refletância 75%), existe uma distribuição diferente da luminância equivalente da janela, com valores máximos acima de 21.726 cd/m^2 na situação 16 e de acima de 5.368 cd/m^2 na situação 21.

Na página adiante, a luminância equivalente da janela é representada segundo as coordenadas altura, azimuth e luminância no plano XZ da abertura.

SITUAÇÃO 21: 10 PV de 0,222mEspessura de parede e peitoril: **0,15m** Refletância dos ECS: 20%**ALTURA 60° AZIMUTE 60°: Sol + Céu**

10 placas verticais sobre a janela como brises verticais

**Gráfico 42** – Luminância equivalente da janela ($Lequiv - cd/m^2$) em imagem 3D para situação 21 com alt. 60° e az. 60°

II- Análise dos Resultados da situação 21:

No gráfico 42a anterior identifica-se uma tendência nos valores de luminância equivalente da janela desde o centro da abertura para os dois lados no hemisfério inferior, um conjunto de valores no lado direito no hemisfério superior, mais um pico de valores máximos no hemisfério inferior no lado direito. Nesta situação 21 houve uma maior distribuição de luminâncias para o hemisfério inferior, diferente do que comparado com a situação 16 similar (com 75% de refletância das placas).

A distribuição espacial dos valores de luminâncias nesta situação com 20% de refletância das placas manteve-se para os dois hemisférios no lado direito como na situação 16 similar (com 75% de refletância), numa redução significativa de valores na faixa de 500 a 1.000 cd/m^2 quando comparado aos valores de 2.500 a 5.000 cd/m^2 da situação 16 com maior refletância.

Com esta menor refletância das placas e neste azimute -60° da fonte de luz, uma parte dos valores máximos desta situação 21 foram identificados na altura -5° a -15° e azimute -15° a $+10^\circ$ (no hemisfério inferior), na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 (na cor verde), seguindo uma tendência nesta direção desde 1.500 cd/m^2 (na cor verde-escuro), diferente da direção da fonte de luz com azimute 60° .

A direcionalidade da luz decorrente do azimute 60° , na direção superior e inferior para o mesmo lado da fonte (lado direito), deve-se à fonte de luz refletida existente nas placas verticais. Os maiores valores de luminância no entanto foram identificados junto ao azimute 0° e altura -10° , na faixa de 2.000 a 2.500 cd/m^2 .

O efeito da distorção no cálculo da luminância devido ao efeito cosseno não está identificado majoritariamente pelos maiores valores de luminância, estando na faixa desde 1.000 a 5.3680 cd/m^2 na parte inferior e em menor presença na superior, junto aos lados direito e esquerdo da abertura.

Já no gráfico 42b anterior em imagem do tipo 3 D, identifica-se aquela concentração (pico) de altos valores de luminância na cor marrom.

Os dois gráficos 42 **a** e **b** representam adequadamente a distribuição espacial segundo a luminância equivalente da janela antes apresentada em imagens do tipo *dxg*, possibilitando uma verificação detalhada segundo altura e azimutes desejados.

3. Modelo de planilha de dados de iluminância no plano do vidro externo (plano número 600):

Exemplo da página que contém o plano número 600 (vidro externo, com 121 pontos de cálculo) de parte da planilha de dados de iluminância gerada (com 15 dos 121 resultados) no Módulo Especial do Programa APOLUX utilizado na tese, para situação de análise de elemento de controle solar do tipo 10 Placas Horizontais sobre a janela, altura 30 graus e azimute 30 graus, com 75% de refletância nas placas, 0,15m de espessura de parede e peitoril. Em **negrito** estão os valores de iluminância calculados.

Projeto: H:\03.07.06\10PH_0,15m_75%.PJT

Num. Planos Opacos: 621

Plano: 600

nível: Vidro_EXT mat: vidro_exterior estado: ativo

Vért.	X	Y	Z	ILU(lux)	LUM(cd/m2)	DFt(%)	DFd(%)	DFr(%)
6444	1.000000	0.000000	1.000000	5254	0	108.579163	0.000000	108.579163
6445	1.000000	0.000000	0.800000	6176	0	127.645203	18.045033	109.600174
6446	0.800000	0.000000	0.800000	9223	0	190.610092	44.541874	146.068222
6447	1.000000	0.000000	0.600000	6529	0	134.934860	16.462612	118.472244
6448	0.800000	0.000000	0.600000	9797	0	202.466476	40.394585	162.071899
6449	0.600000	0.000000	0.600000	10262	0	212.080612	42.461918	169.618698
6450	1.000000	0.000000	0.400000	6841	0	141.377625	14.722670	126.654953
6451	0.800000	0.000000	0.400000	10300	0	212.878448	35.912468	176.965973
6452	0.600000	0.000000	0.400000	10802	0	223.235321	37.724735	185.510590
6453	0.400000	0.000000	0.400000	10903	0	225.339050	37.990341	187.348709
6454	1.000000	0.000000	0.200000	6879	0	142.168457	12.680558	129.487900
6455	0.800000	0.000000	0.200000	10301	0	212.898865	30.769255	182.129608
6456	0.600000	0.000000	0.200000	10808	0	223.357452	32.294407	191.063049
6457	0.400000	0.000000	0.200000	10911	0	225.497650	32.521278	192.976379
6458	0.200000	0.000000	0.200000	10944	0	226.178116	32.559868	193.618256

A partir destes dados valores de iluminância no plano do vidro externo, foram calculados os valores de fluxo luminoso admitido, com base na contribuição de cada parte do vidro externo em que houve identificação do valor de iluminância (121 partes), ou seja, cada parte representou $0,03305 \text{ m}^2$ (4 m^2 dividido por 121 pontos), considerando $\Phi = E \cdot A$.

4. Modelo de planilha de dados de luminância:

Exemplo da página inicial da planilha de dados de luminância equivalente da janela gerada no Módulo Especial do Programa APOLUX utilizado na tese, para situação de análise de elemento de controle solar do tipo 10 Placas Horizontais sobre a janela, altura 30 graus e azimute 30 graus, com 75% de refletância nas placas, 0,15m de espessura de parede e peitoril. Em **negrito na última coluna** estão os valores de luminância calculados para as direções vetor-luz consideradas.

hemisfera_g90

Dir ; cosx ; cosy ; cosz ; dist ; plan ; tri ; llu_(lux) ; **Lum_(cd/m2)**

0 ; 0.78341199 ; -0.61997088 ; 0.043609071 ; 9.9647796 ; 0 ; 0 ; 46.77758 ; **1879.0779**
 0 ; 0.78413796 ; -0.62054539 ; -0.0071471934 ; 9.9555541 ; 0 ; 1 ; 59.918514 ; **2398.0544**
 0 ; 0.77120416 ; -0.63649082 ; 0.011116615 ; 9.9442128 ; 0 ; 2 ; 60.394966 ; **2348.5243**
 0 ; 0.7443979 ; -0.66772864 ; -0.0031977254 ; 9.9328585 ; 0 ; 3 ; 62.954168 ; **2325.5328**
 0 ; 0.78284482 ; -0.61952204 ; -0.057848313 ; 9.9719991 ; 0 ; 4 ; 78.158887 ; **3148.7888**
 0 ; 0.77064351 ; -0.63602811 ; -0.039709106 ; 9.9514472 ; 0 ; 5 ; 77.443874 ; **3020.2627**
 0 ; 0.7433143 ; -0.66675665 ; -0.054031699 ; 9.9473386 ; 0 ; 6 ; 83.78765 ; **3113.2113**
 0 ; 0.73002168 ; -0.68248612 ; -0.035791522 ; 9.9401012 ; 0 ; 7 ; 79.791381 ; **2890.0796**
 0 ; 0.70090322 ; -0.71150138 ; -0.050004625 ; 9.9606764 ; 0 ; 8 ; 95.614201 ; **3342.6306**
 1 ; 0.95437367 ; -0.29410037 ; 0.051728841 ; 9.9551891 ; 1 ; 9 ; 20.331242 ; **1719.2073**
 1 ; 0.95560992 ; -0.29448134 ; -0.0095093792 ; 9.9423103 ; 1 ; 10 ; 25.769995 ; **2167.8533**
 1 ; 0.94932326 ; -0.31408546 ; 0.011647714 ; 9.9304808 ; 1 ; 11 ; 20.480403 ; **1609.5812**
 1 ; 0.93558908 ; -0.35301315 ; -0.0074025291 ; 9.9186373 ; 1 ; 12 ; 32.749185 ; **2281.7972**
 1 ; 0.95326573 ; -0.29375895 ; -0.070640892 ; 9.9667596 ; 1 ; 13 ; 28.15032 ; **2391.4734**
 1 ; 0.9482157 ; -0.31371902 ; -0.049672522 ; 9.9420801 ; 1 ; 14 ; 24.212794 ; **1911.8209**
 1 ; 0.93340463 ; -0.35218892 ; -0.068693311 ; 9.9418499 ; 1 ; 15 ; 38.857894 ; **2732.8549**
 1 ; 0.92706976 ; -0.37185409 ; -0.04760464 ; 9.9302504 ; 1 ; 16 ; 31.399737 ; **2084.229**
 1 ; 0.90995521 ; -0.4093431 ; -0.066481074 ; 9.9549593 ; 1 ; 17 ; 41.557949 ; **2524.6227**
 2 ; 0.3974632 ; -0.91722678 ; -0.026796112 ; 9.9669279 ; 2 ; 18 ; 85.149555 ; **2309.8258**
 2 ; 0.45329441 ; -0.89135971 ; 0.0014260986 ; 9.9485645 ; 2 ; 19 ; 74.979818 ; **2081.4322**